THE

LAST CODEX

Si todo se perdiera, aquí es donde volveríamos a empezar.

Los inventos de la humanidad: qué son, cómo funcionan y cómo volver a construirlos.

Edición para imprimir del 14 de octubre de 2026
https://lastcodex.org

Índice

I Supervivencia

Herramientas de piedra · hace 3,3 millones de años · 5
Dominio del fuego · hace 1 millón de años · 9
Cuerda y cordaje · hace 50.000 años · 13

II Asentamiento

Arco y flechas · hace 62.000 años · 18
Cerámica · hace 18.000 años · 23
Pan · hace 12.400 años · 27
Cal y mortero de cal · hace 10.000 años · 31
Agua potable · h. 8400 a. C. · 35
Ladrillos · h. 7500 a. C. · 40
Tejido en telar · h. 6700 a. C. · 44
Salazón · h. 6050 a. C. · 48
Riego · h. 6000 a. C. · 52
Queso · h. 5500 a. C. · 57
Arado · h. 5000 a. C. · 61
Carbón vegetal · h. 4500 a. C. · 65
Teñido · h. 4200 a. C. · 69
Arco y bóveda · h. 3500 a. C. · 73
Cerveza · h. 3500 a. C. · 77
Rueda y eje · h. 3500 a. C. · 81
Escritura · h. 3300 a. C. · 85
Vela · h. 3200 a. C. · 89
Jabón · h. 2800 a. C. · 93
Numeración posicional · h. 2050 a. C. · 97
Curtido del cuero · h. 1500 a. C. · 101
Reloj de sol · h. 1500 a. C. · 105
Rotación de cultivos · h. 700 a. C. · 109
Cerradura y llave · h. 700 a. C. · 114

III Oficios y ciudades

Torno de alfarero · h. 4000 a. C. · 119
Bronce · h. 3300 a. C. · 123
Medidas y patrones · h. 3000 a. C. · 127
Vidrio · h. 2500 a. C. · 132
Reducción del hierro · h. 1200 a. C. · 136
Acero · h. 1000 a. C. · 140
Acueducto · h. 690 a. C. · 145
Grúa y polea · h. 515 a. C. · 149
Engranajes · h. 300 a. C. · 153
Rueda hidráulica · h. 300 a. C. · 157
Bomba de pistón · h. 270 a. C. · 161
Hormigón romano · h. 200 a. C. · 165
Papel · h. 150 a. C. · 169
Destilación · h. 300 · 173
Collera · h. 480 · 177
Pólvora · h. 850 · 181
Molino de viento · h. 900 · 185
Rueca · h. 1000 · 189
Brújula · h. 1088 · 193
Gafas · h. 1286 · 196
Reloj mecánico · h. 1300 · 200
Imprenta · h. 1440 · 204

IV Ciencia e industria

Navegación astronómica h. 1460 · 209
Microscopio h. 1590 · 213
Telescopio 1608 · 217
Termómetro y barómetro h. 1654 · 221
Máquina de vapor 1712 · 226
Globo aerostático 1783 · 230
Vacunación 1796 · 234
Pila eléctrica 1800 · 239
Locomotora de vapor 1804 · 243
Conservas y pasteurización 1810 · 247
Bicicleta 1817 · 252
Cemento Portland 1824 · 256
Fotografía h. 1827 · 260
Turbina hidráulica 1827 · 264
Máquina de coser 1830 · 269
Generador eléctrico 1831 · 273
Motor eléctrico 1834 · 277
Refrigeración 1834 · 281
Telégrafo eléctrico 1837 · 285
Caucho vulcanizado 1839 · 289
Anestesia 1846 · 293
Higiene y antisepsia 1847 · 298
Batería de plomo-ácido 1859 · 303

V Era eléctrica

Hormigón armado h. 1848 · 308
Motor de combustión interna 1876 · 313
Teléfono 1876 · 317
Bombilla incandescente 1879 · 321
Turbina de vapor 1884 · 325
Transformador 1885 · 330
Aluminio 1886 · 335
Aerogenerador 1887 · 339
Radio h. 1895 · 344
Radiografía 1895 · 348
Avión 1903 · 352
Penicilina 1928 · 356
Transistor 1947 · 361
Ordenador 1948 · 365
Célula solar 1954 · 370
Rehidratación oral 1968 · 375

I

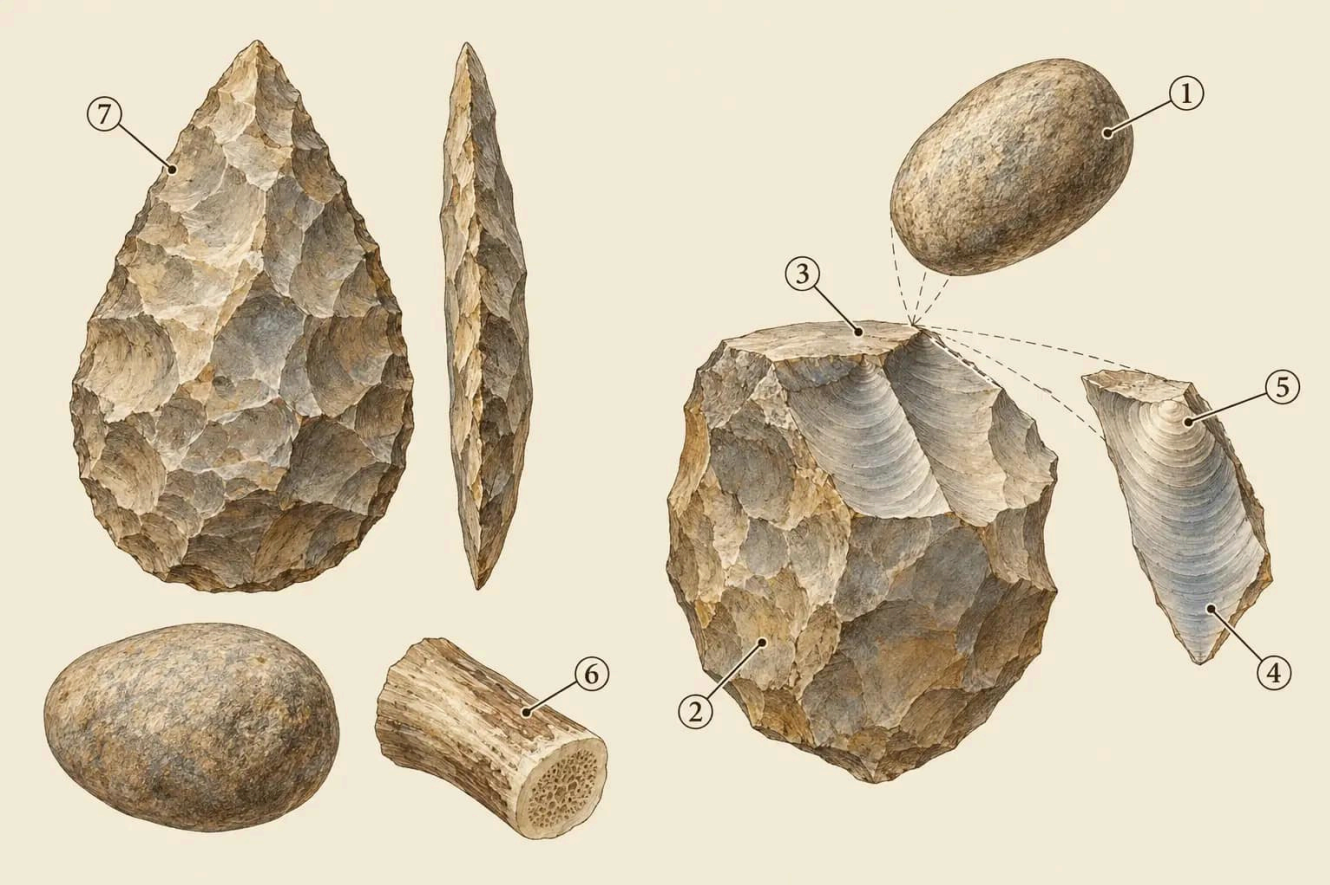
Supervivencia

Herramientas de piedra

El primer filo

hace 3,3 millones de años · Prehistoria · Supervivencia

Conduce a: Arco y bóveda (p. 73), Arco y flechas (p. 18), Carbón vegetal (p. 65), Riego (p. 52), Curtido del cuero (p. 101), Cal y mortero de cal (p. 31), Cerradura y llave (p. 114), Medidas y patrones (p. 127), Arado (p. 61), Rueda y eje (p. 81), Escritura (p. 85)



1 Percutor 2 Núcleo 3 Plataforma de percusión 4 Lasca 5 Bulbo de percusión 6 Percutor blando de asta 7 Bifaz

La mayoría de las herramientas de piedra son trozos de roca rotos de forma controlada para obtener un filo que corte, raspe o hienda. Son la tecnología más antigua que se conoce: las primeras tienen unos 3,3 millones de años, y algunas se fabricaron todavía en el siglo XX.

Qué es

Cuenta como tal cualquier piedra usada como herramienta, del simple percutor a la losa de moler, pero la mayoría se formaron desprendiendo lascas para conseguir un filo o una punta. La más sencilla es una lasca cortante desprendida de un canto rodado y usada en el acto para cortar carne o descortezar una rama. Las más elaboradas, como una fina punta de lanza o un hacha pulida, exigían horas de trabajo experto.

Durante la mayor parte de la historia humana, la piedra fue el principal material duro disponible. La madera, el hueso, la piel y las fibras se trabajaban con filos de piedra. Y como la piedra se conserva casi para siempre, estas herramientas son también el principal registro que tienen los arqueólogos de la vida de los primeros humanos.

Cómo funciona

Las buenas piedras para herramientas son duras, frágiles y de grano muy fino, sin vetas internas: sílex, chert, obsidiana (un vidrio volcánico) y algunas cuarcitas. Si se golpea una de ellas cerca de un borde, el golpe abre una grieta en forma de cono, la misma que deja un perdigón en el cristal de una ventana. La grieta se curva hacia la superficie y libera una lasca. Esta rotura en forma de concha se llama fractura concoidea y da filos muy delgados y cortantes.

El tallador golpea el núcleo sobre una superficie plana, la plataforma de percusión, cerca de su borde. Donde la plataforma se une con la cara del núcleo, el ángulo debe ser menor de 90 grados; si no, el golpe solo machaca el borde. La lasca desprendida conserva las huellas del golpe: un abultamiento redondeado justo debajo del punto de impacto, el bulbo de percusión, y finas ondas que se alejan de él. El núcleo guarda el negativo en hueco, que puede servir de plataforma para el golpe siguiente.

Talla por presión: una punta de asta arranca pequeñas lascas del borde mientras el cuero protege la palma.

Tres técnicas permiten dosificar el resultado. El percutor duro, normalmente un canto de cuarcita, arranca lascas grandes y gruesas. El percutor blando, de asta, hueso o madera dura, arranca lascas más largas y finas y sirve para adelgazar y dar forma. La talla por presión apoya una punta de asta contra el borde hasta que salta una lasca pequeña; da la forma final y un filo recto y vivo.

Cómo fabricarla

La talla se aprende practicando, y las primeras horas producen sobre todo piedra rota. Hacen falta nódulos de sílex o chert, o bloques de obsidiana o de vidrio grueso de botella; dos o tres percutores de distinto peso; un percutor de asta y una punta de asta; una almohadilla gruesa de cuero; gafas de protección; guantes de cuero; y una lona para recoger los restos.

Elegir la piedra. Buscar un nódulo sin grietas, agujeros ni zonas de grano grueso. Golpearlo suavemente con un guijarro: un sonido claro indica piedra sana; uno sordo, defectos ocultos.

Buscar una plataforma. Localizar un borde donde dos superficies se unen con menos de 90 grados. Golpear un poco hacia dentro de ese borde, unos milímetros para una lasca fina y más para una gruesa, con un golpe corto y firme que sigue hacia fuera, alejándose del núcleo. Apoyar el núcleo en la almohadilla sobre el muslo, nunca en la palma desnuda.

Hacer una herramienta sobre lasca. Una sola lasca buena ya es un cuchillo. Se usa tal cual o se retoca su dorso con golpecitos para sujetarla mejor.

Dar forma a un bifaz. Recorrer el contorno de un nódulo plano quitando lascas alternativamente de una cara y de la otra, para que el borde se convierta en una línea sinuosa en el centro de la pieza. Pasar al percutor de asta para adelgazar las caras. Antes de cada golpe, desgastar un poco el borde con una piedra áspera para que no se desmorone.

Terminar por presión. Sujetar la pieza sobre la almohadilla, apretar la punta de asta hacia abajo y hacia dentro contra el borde y quitar pequeñas lascas una tras otra para enderezar y afilar el filo.

> **Seguridad.** Las lascas recién sacadas cortan más que una cuchilla y salen disparadas. Llevar siempre gafas de protección y proteger manos y muslos con cuero. Trabajar al aire libre o en un lugar bien ventilado y no respirar el polvo fino: el sílex y el chert son sílice, y años de polvo provocan silicosis, que mató a muchos talladores profesionales de piedras de chispa. Recoger los restos sobre la lona, humedecer el polvo en lugar de barrerlo en seco y guardar las lascas cortantes en una lata o un cubo cerrado. Mantener alejados a niños y animales.

Historia y evolución

Herramientas olduvayenses: un canto con un filo irregular, las lascas sacadas de él y el percutor.

Las herramientas de piedra más antiguas que se conocen proceden de Lomekwi 3, al oeste del lago Turkana, en Kenia. Tienen unos 3,3 millones de años, más que los fósiles más antiguos conocidos del género *Homo*. El equipo halló 149 núcleos, lascas, percutores y posibles yunques, obtenidos con gestos simples, cercanos al machacado. No se sabe quién los hizo; *Kenyanthropus* y *Australopithecus* vivían entonces en la zona.

Las herramientas olduvayenses aparecen en varios yacimientos de África oriental desde hace unos 2,6 millones de años, y quizá desde hace 2,9 millones en Nyayanga (Kenia): cantos a los que se quitaban unas pocas lascas, las propias lascas cortantes y percutores. Hace unos 1,7 millones de años, también en África oriental, aparecen los primeros bifaces generalmente aceptados, herramientas grandes trabajadas por las dos caras en forma de gota, con un largo filo. Se siguieron fabricando durante más de un millón de años, en África, Europa y Asia.

Más tarde, los talladores aprendieron a preparar un núcleo para que un solo golpe desprendiera una lasca de forma prevista. Hace unos 200.000 años se fijaban puntas a astiles de madera para hacer lanzas, y se usaban perforadores y raspadores de piedra para trabajar pieles y madera. En Europa y Asia occidental, entre hace unos 50.000 y 10.000 años, la hoja larga y delgada se convirtió en el soporte habitual. Los microlitos, pequeños segmentos de hoja encajados en hilera en mangos y flechas, aparecen en el sur de África hace unos 71.000 años y se generalizaron en muchas regiones al final de la última glaciación.

En el Neolítico, las hojas de hacha se pulían sobre arenisca para hacerlas más resistentes.

Los agricultores del Neolítico, desde hacia el 10.000 a. C., pulían hachas de piedra para desbrozar el bosque. El metal sustituyó a la piedra despacio y nunca del todo. En Brandon, Inglaterra, se tallaron piedras de chispa para armas de fuego hasta el siglo XX, y las hojas de obsidiana todavía se usan en algunas operaciones delicadas porque su filo es más fino que el de los bisturís de acero.

Cifras clave

Herramientas de piedra más antiguas
Unos 3,3 millones de años, Lomekwi 3 (Kenia)

Primeros bifaces
Hace unos 1,7 millones de años, África oriental

Vida del bifaz
Se fabricó durante más de un millón de años

Un oficio lítico tardío
Piedras de chispa, producidas en cantidad en Brandon (Inglaterra) hasta el siglo XX

Fuentes

1. Stone Tools · Smithsonian National Museum of Natural History, Human Origins Program https://humanorigins.si.edu/evidence/behavior/stone-tools
2. Scientists Discover World's Oldest Stone Tools · Columbia Climate School, State of the Planet https://news.climate.columbia.edu/2015/05/20/scientists-discover-worlds-oldest-stone-tools/
3. Small, lethal tools have big implications for early modern human complexity · Arizona State University https://news.asu.edu/content/small-lethal-tools-have-big-implications-early-modern-human-complexity
4. Stone tool · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_tool
5. Knapping · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Knapping
6. Introducing a new experimental design for controlled studies of flake formation: results for exterior platform angle, platform depth, angle of blow, velocity, and force · Journal of Archaeological Science https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.05.004
7. A Synthesis of the Dibble et al. Controlled Experiments into the Mechanics of Lithic Production · Journal of Archaeological Method and Theory https://doi.org/10.1007/s10816-022-09586-2
8. The results of lithic experiments performed on glass cores are applicable to other raw materials · Archaeological and Anthropological Sciences https://doi.org/10.1007/s12520-019-00963-9

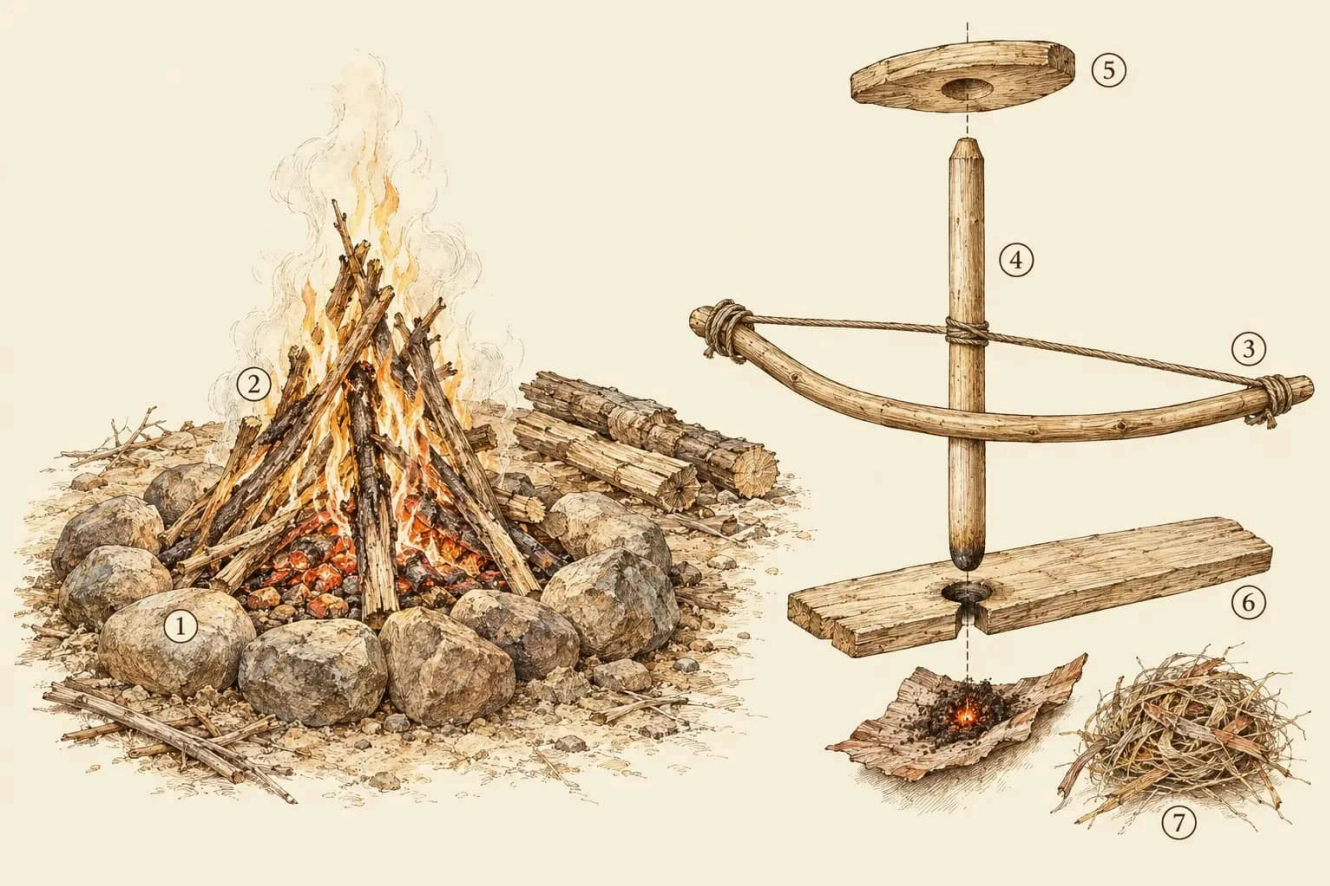
Datos verificados el 2026-10-11

Dominio del fuego

Luz, calor y cocina

hace 1 millón de años · Prehistoria · Supervivencia

Conduce a: Pan (p. 27), Bronce (p. 123), Conservas y pasteurización (p. 247), Carbón vegetal (p. 65), Destilación (p. 173), Agua potable (p. 35), Teñido (p. 69), Pólvora (p. 181), Globo aerostático (p. 230), Curtido del cuero (p. 101), Cal y mortero de cal (p. 31), Cerámica (p. 23), Hormigón romano (p. 165), Jabón (p. 93), Caucho vulcanizado (p. 289)



1 Piedras del hogar 2 Leña 3 Arco 4 Huso 5 Tapa de presión 6 Tabla base y muesca 7 Nido de yesca

Dominar el fuego significa mantener viva una llama, transportarla y, al final, encenderla a voluntad. Los antepasados humanos ya usaban el fuego hace al menos un millón de años, y les daba calor, luz, protección y comida cocinada.

Qué es

El fuego es una reacción química: un combustible se combina con el oxígeno del aire y desprende calor y luz. Dominarlo fue un aprendizaje por etapas. Primero, conservar un fuego encendido por la naturaleza, tras un rayo o un incendio de matorral. Después, transportarlo y alimentarlo durante días. Por último, encenderlo cuando hiciera falta.

El fuego da calor por la noche y permite vivir en regiones más frías. Ilumina las cuevas, mantiene alejados a los animales, endurece las puntas de las lanzas de madera y cocina los alimentos. La carne y los tubérculos cocinados son más blandos y aportan más energía en la digestión que crudos.

Cómo funciona

Un fuego necesita tres cosas a la vez: combustible, oxígeno y calor suficiente para mantener la reacción. Si falta una, se apaga.

La madera no arde directamente. El calor la descompone primero en gases inflamables y deja carbón. Los gases arden en la llama, por encima de la madera, y el carbón brilla debajo. Por eso un fuego se monta de menor a mayor: las ramitas finas y secas se calientan deprisa, sueltan gas y llevan las ramas más gruesas a la temperatura necesaria.

Hay dos maneras tradicionales habituales de hacer fuego. Los métodos de fricción frotan una madera contra otra hasta reunir un polvo de madera fino y caliente que empieza a brillar. El taladro de mano hace girar un palo entre las palmas; el taladro de arco, el de la lámina, hace lo mismo con una cuerda enrollada al huso, más rápido y con menos esfuerzo. Ese polvo incandescente es una brasa. Colocada en un nido de hierba seca y corteza deshilachada y soplada con suavidad, se convierte en llama.

El sílex golpeado contra la pirita lanza chispas lo bastante calientes para poner al rojo la yesca seca.

Los métodos de percusión sacan chispas. Cuando el filo duro de un sílex golpea la pirita, arranca granos diminutos del mineral, que arden en el aire. Sílex contra sílex apenas da nada. Las chispas son pequeñas y breves, así que necesitan una yesca que prenda con facilidad, como la capa interna del hongo yesquero, secada y golpeada hasta quedar blanda y esponjosa.

Cómo hacerlo

Con el taladro de mano, las palmas giran un palo en un sentido y en otro hasta que el serrín de la muesca empieza a brillar.

El taladro de arco es el método de fricción más fiable para aprender. Hacen falta un cuchillo o una lasca de piedra afilada, una cuerda y madera seca, muerta y semiblanda, como sauce, tilo, álamo o cedro.

Preparar el hogar. Elegir un suelo desnudo y llano, lejos de ramas bajas y hierba seca. Despejar de hierba, hojas y ramitas un círculo de unos tres metros de diámetro y rodear el hoyo con piedras. Reunirlo todo antes: dos puñados de yesca, un haz de ramitas finas como un lápiz y luego palos del grosor de un pulgar y de una muñeca.

Tallar el equipo. El huso es un palo recto de unos 20 cm y del grosor de un pulgar, redondeado arriba y romo abajo. La tabla base es una pieza plana de unos 2 cm de grosor. La tapa de presión es un trozo de madera más dura o una piedra del tamaño de la palma, con un pequeño hueco en la cara inferior; un poco de grasa o una hoja verde en ese hueco evita que se caliente la punta superior del huso. El arco es una vara rígida y algo curva, del largo del brazo, con la cuerda justo lo bastante floja para dar una vuelta al huso; una vez colocada, debe agarrarlo con firmeza.

Quemar el asiento y abrir la muesca. Taladrar un hueco poco profundo cerca del borde de la tabla hasta que se ennegrezca y cortar una muesca en V desde el hueco hasta el borde, de un octavo del círculo aproximadamente. Poner un trozo de corteza bajo la muesca para recoger el polvo.

Taladrar. De rodillas, con un pie sobre la tabla y la muñeca que sujeta la tapa apoyada en la espinilla, apretar con firmeza sobre la tapa y mover el arco con pasadas largas y regulares. Acelerar cuando el hueco humee. Cuando la muesca esté llena de un polvo oscuro que sigue humeando solo, ya hay brasa.

Avivar la brasa hasta la llama. Volcar la brasa en el nido de yesca, cerrarlo y soplar despacio hasta que prenda. Colocarlo en el hoyo, apoyar ramitas encima en forma de cono y añadir leña gruesa solo cuando las ramitas ardan bien.

> **Seguridad.** En hierba seca o con viento, el fuego corre más que una persona. No encender nunca fuego con sequía, prohibición o viento fuerte, y tener a mano agua o tierra suelta. No rodear el hoyo con cantos de río mojados: el agua atrapada puede hacerlos estallar. No dejar nunca un fuego solo. Para apagarlo, empaparlo, remover las cenizas y volver a empaparlo hasta que todo, incluidas las brasas enterradas, esté frío al tacto. Practicar solo al aire libre: un fuego abierto en un refugio o una cueva llena el aire de humo y monóxido de carbono, que pueden matar.

Historia y evolución

Los rastros de fuego más antiguos bien establecidos en un contexto humano proceden de la cueva de Wonderwerk, en Sudáfrica. En 2012, un equipo encontró allí ceniza microscópica y huesos quemados en capas de alrededor de un millón de años, junto a herramientas de piedra achelenses, probablemente obra de *Homo erectus*. Un estudio publicado en 2026 halló huesos quemados más abajo en la misma secuencia, en capas datadas entre 1,07 y 1,79 millones de años, a unos 30 metros dentro de la cueva, donde no podía llegar un incendio natural. Indicios más antiguos en Kenia, hacia 1,5 millones de años, se basan en suelos enrojecidos que también podría explicar un fuego natural.

En Gesher Benot Ya'aqov, en Israel, semillas, madera y grupos de sílex quemados sugieren fuegos mantenidos en lugares fijos hace unos 790.000 años. Los hogares claramente identificables solo se vuelven frecuentes entre hace unos 400.000 y 300.000 años, en África, Oriente Próximo y Europa. Hasta entonces, probablemente se recogía el fuego de incendios naturales y se mantenía vivo.

La prueba más antigua de encendido procede de Barnham, en Suffolk (Inglaterra), y se publicó en 2025. Hace unos 400.000 años, alguien calentó allí una y otra vez la misma superficie de arcilla por encima de 700 °C. Quedaron bifaces agrietados por el fuego y dos trozos de pirita, un mineral tan raro en ese paisaje que probablemente se llevó allí a propósito. El récord anterior, en yacimientos neandertales del norte de Francia, tenía unos 50.000 años.

Los arqueólogos leen los fuegos antiguos en sección: ceniza y carbón sobre una tierra enrojecida por el calor.

Cifras clave

Rastros más antiguos de uso del fuego
Hace alrededor de 1 millón de años, cueva de Wonderwerk (Sudáfrica), quizá hasta 1,8 millones

Prueba más antigua de encendido
Hace unos 400.000 años, Barnham (Inglaterra)

Uso habitual
Extendido desde hace unos 400.000–300.000 años

Temperatura del hogar de Barnham
Más de 700 °C

Fuentes

1. Control of fire by early humans · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Control_of_fire_by_early_humans
2. Evidence that human ancestors used fire one million years ago · ScienceDaily (University of Toronto) https://sciencedaily.com/releases/2012/04/120402162548.htm
3. Early humans were bringing fire into caves 1.8 million years ago · ScienceDaily (Hebrew University of Jerusalem) https://sciencedaily.com/releases/2026/06/260623083123.htm
4. Evidence of Hominin Control of Fire at Gesher Benot Ya'aqov, Israel (Science, 2004) · Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/evidence-of-hominin-control-of-fire-at-gesher-benot-yaaqov-israel/
5. Earliest fire making, dating back 400,000 years, unearthed in Suffolk · Natural History Museum, London https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2025/december/earliest-fire-making-dating-back-400-000-years-unearthed-in-suffolk-england.html
6. Research shows humans making fire 350,000 years earlier than thought · University of Liverpool https://news.liverpool.ac.uk/?p=131468
7. Wood Handbook, chapter 4: Moisture Relations and Physical Properties of Wood (FPL-GTR-190) · USDA Forest Service, Forest Products Laboratory https://research.fs.usda.gov/download/treesearch/37428.pdf
8. The Physics of Fire by Friction · University of Dayton (Bradley D. Duncan) https://ecommons.udayton.edu/ece_fac_pub/418
9. Lighting a fire using friction requires an understanding of some physics principles · University of Dayton Magazine https://udayton.edu/magazine/2023/12/lighting-fire.php
10. Ignition of Wood (Vytenis Babrauskas) · Fire Science and Technology Inc., via CFITrainer.net https://www.cfitrainer.net/programs/35a84de0-e505-4899-be34-f31de9d9d570/document/2005_CCAI_Wood_ignition.pdf

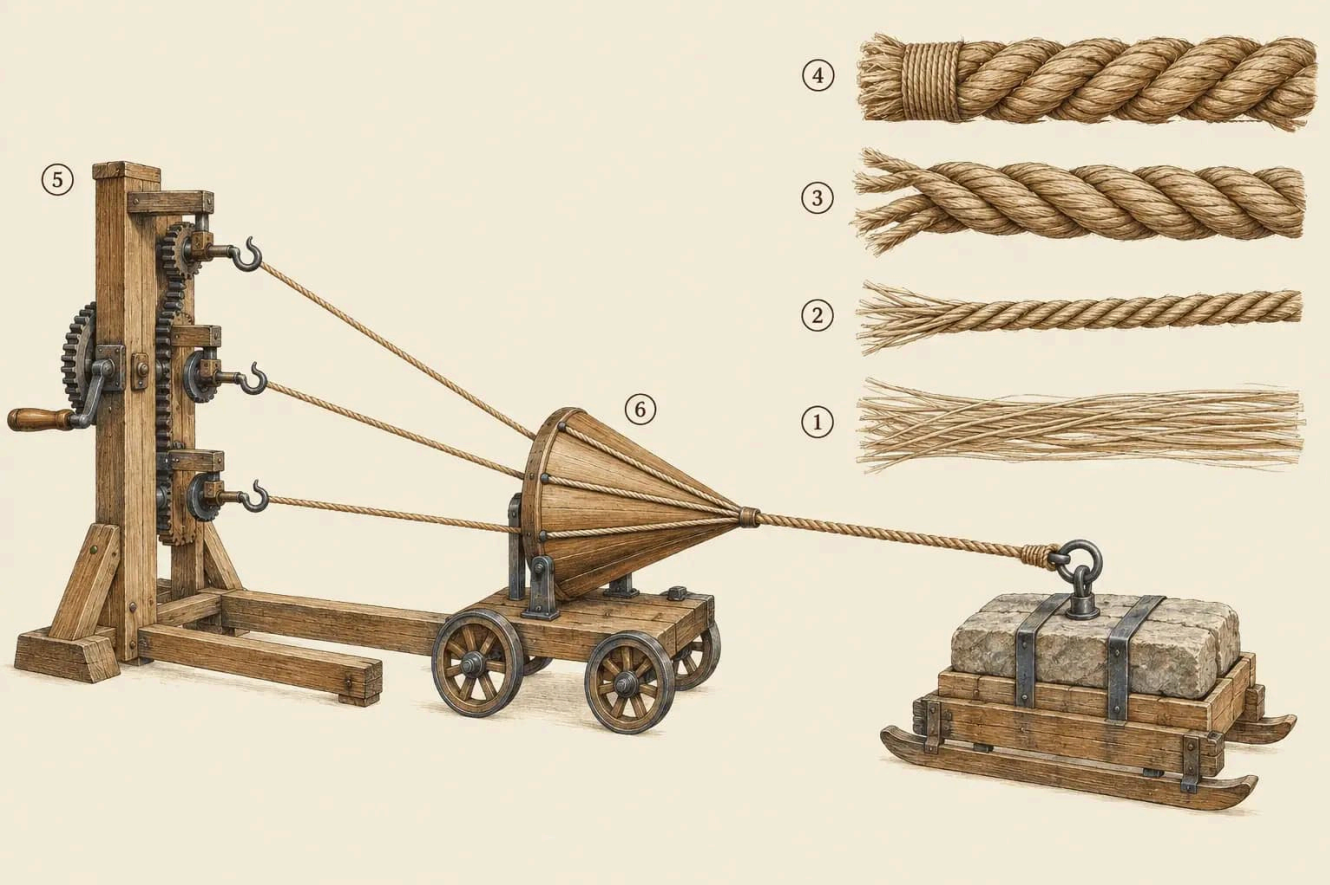
Datos verificados el 2026-10-11

Cuerda y cordaje

Fibras retorcidas que lo sujetan todo

hace 50.000 años · Prehistoria · Supervivencia

Conduce a: Arco y flechas (p. 18), Grúa y polea (p. 149), Agua potable (p. 35), Teñido (p. 69), Collera (p. 177), Riego (p. 52), Medidas y patrones (p. 127), Arado (p. 61), Vela (p. 89), Rueca (p. 189), Tejido en telar (p. 44), Molino de viento (p. 185)



1 Fibras 2 Filástica 3 Cordón 4 Cabo de tres cordones 5 Manivela y ganchos 6 Trompo (guía)

Una cuerda tradicional está hecha de fibras cortas retorcidas en filásticas, las filásticas en cordones y los cordones en cuerda, hasta formar una línea mucho más larga y resistente que cualquier fibra suelta. Los neandertales ya retorcían cordel hace más de 40.000 años, y desde entonces la cuerda sirve para atar, arrastrar, levantar y aparejar.

Qué es

Una cuerda es una línea larga y flexible que resiste la tracción. La cuerda tradicional está hecha de fibras que miden cada una desde unos centímetros hasta un metro más o menos: tallos y hojas de plantas, corteza interna, tendones o pelo de animales. Lo que las mantiene unidas es la torsión. Las cuerdas sintéticas modernas pueden usar filamentos continuos, y muchas son trenzadas en lugar de colchadas.

La cuerda fina se llama cordel, bramante o hilo. La cuerda sujeta cargas, arrastra barcas y piedras, tiende redes y trampas y apareja los barcos de vela.

Cómo funciona

Una fibra sola es débil y corta. Al retorcer muchas juntas, la torsión las aprieta unas contra otras y el rozamiento impide que se deslicen. Si se tira del hilo, se cierra y aprieta más: cuanta más carga, mejor agarra.

Un hilo retorcido por sí solo tiende a destorcerse. La solución es volver a retorcerlo en sentido contrario. Las fibras se hilan en un sentido para formar filástica; varias filásticas se retuercen en el sentido opuesto para formar un cordón; tres cordones se colchan de nuevo en el primer sentido para formar el cabo. La torsión residual de cada etapa tira en sentido contrario a la de la etapa que lleva dentro: las fuerzas se compensan y la cuerda conserva su forma. El cabo de tres cordones así construido se llama colchado corriente.

Torsión inversa: cada mechón se retuerce en un sentido y luego se cruza sobre el otro en sentido contrario.

La misma regla vale a la escala más pequeña. En la torsión inversa, un método manual sencillo, dos mechones de fibra se retuercen cada uno en un sentido y luego se enrollan uno sobre otro en el sentido opuesto: sale un cordel de dos cabos que no se deshace. Una cuerda larga se hace igual, a mayor escala: una manivela retuerce los cordones y un bloque de madera acanalado, el trompo, los mantiene separados hasta que se colchan detrás de él.

Cómo fabricarla

Las buenas fibras para cuerda son largas y fuertes: ortiga, lino, cáñamo, corteza interna de tilo o de sauce, hojas de enea, o bramante de algodón o de cáñamo comprado para practicar.

Preparar la fibra. Cortar tallos de ortiga a finales del verano, con guantes. Aplastarlos, abrirlos, quitar el corazón leñoso y despegar la piel exterior con sus fibras. Dejarlas secar y humedecerlas un poco antes de usarlas. La corteza de tilo necesita varias semanas en remojo antes de que se separen las capas de fibra.

Hacer cordel a mano. Tomar un mechón y doblarlo un poco fuera de su mitad, para que los dos extremos queden de distinto largo. Pellizcar el doblez. Retorcer el mechón de arriba alejándolo del cuerpo y luego pasarlo sobre el de abajo hacia uno mismo. Repetir avanzando el pellizco. Cuando un mechón se acaba, colocar un nuevo puñado de fibras a su lado y retorcerlo con él; los extremos desiguales evitan que dos empalmes caigan en el mismo punto.

Montar una cordelería. Para una cuerda más gruesa, fijar un bastidor con tres ganchos que una manivela hace girar a la vez. Tender tres tramos iguales de cordel o de hilo desde esos ganchos hasta un único gancho giratorio montado en un trineo lastrado, al otro extremo. Bloquear de momento el giratorio con una clavija y colocar el trompo entre los cordones justo al lado del trineo, un cordón en cada ranura.

Retorcer y colchar. Girar la manivela en el sentido que aprieta la torsión que ya tiene el hilo, hasta que cada cordón quede duro y se ensortije al aflojarlo. Quitar entonces la clavija para que el gancho giratorio pueda girar. Seguir girando mientras un ayudante lleva despacio el trompo hacia el bastidor: detrás de él, los cordones se colchan solos en sentido contrario, y el trineo avanza a medida que la cuerda se acorta.

Rematar los extremos. Atar bien cada extremo con hilo fino, un falcaceado, antes de cortarlo, o los cordones se descolcharán.

> **Seguridad.** Una cuerda cargada acumula energía; si se rompe, los extremos vuelven con violencia, así que nunca hay que ponerse en la línea de una cuerda en tensión. No usar cuerda casera para escalar, para levantar personas ni para cargas por encima de alguien. La manivela también acumula torsión: sujetarla al parar o girará hacia atrás. Llevar guantes para las ortigas y al dejar correr una cuerda entre las manos.

Historia y evolución

La herramienta de marfil de Hohle Fels, reconstruida: las fibras pasadas por sus cuatro agujeros se retuercen en cuerda.

La prueba directa más antigua de un cordel procede del Abri du Maras, un abrigo rocoso del Ardèche, en Francia. En 2020 se describió un fragmento de unos 6 mm pegado a una herramienta de piedra, formado por tres mechones de fibra de corteza interna, probablemente de conífera, retorcidos y luego unidos entre sí. Tiene entre 41.000 y 52.000 años y lo hicieron neandertales, que por tanto sabían retorcer en dos sentidos opuestos.

En la cueva de Hohle Fels, en el suroeste de Alemania, los excavadores recuperaron una tira de marfil de mamut de unos 20 cm, con cuatro agujeros rodeados de surcos en espiral, de entre 35.000 y 40.000 años. En 2024, Nicholas Conard y Veerle Rots la interpretaron como una probable herramienta cordelera: quedaban fibras vegetales en sus surcos, y un bastón parecido de la cercana cueva de Geißenklösterle tiene surcos desgastados como por el paso de fibras. Con réplicas, equipos de cuatro o cinco personas hicieron unos 5 metros de cuerda resistente en 10 minutos; las hojas de enea dieron muy buen resultado.

Las sociedades agrícolas fabricaron cuerda a una escala mucho mayor. Los egipcios hacían cuerdas de junco, papiro, fibra de palmera y lino, y cuadrillas tirando de cuerdas movían las piedras de los monumentos. En Wadi Gawasis, un puerto faraónico del mar Rojo, los arqueólogos encontraron rollos de cabos de barco, bien anudados y guardados en cuevas excavadas para las expediciones al país de Punt.

En Europa, desde la Edad Media hasta el siglo XIX, las marinas de vela hacían sus cabos en cordelerías, edificios lo bastante largos para colchar una cuerda entera de una sola pieza. La cordelería del arsenal de Chatham, en Inglaterra, mide casi 350 metros, y allí se hace cuerda desde hace más de 400 años. La cuerda de nailon apareció durante la Segunda Guerra Mundial, y desde los años cincuenta las fibras sintéticas asumieron la mayor parte de los usos del cáñamo y del abacá.

El as de guía forma una gaza fija, el ballestrinque amarra a un poste y el nudo llano ata un haz; no sirve para unir dos cuerdas con carga.

Cifras clave

Cordel más antiguo conocido
41.000–52.000 años, Abri du Maras (Francia)

Probable herramienta cordelera temprana
35.000–40.000 años, Hohle Fels (Alemania)

Construcción habitual
3 cordones, torsión invertida en cada etapa

Ritmo prehistórico (herramienta replicada)
Unos 5 m de cuerda en 10 minutos, entre 4 o 5 personas

Fuentes

1. Neanderthal cord weaver · CNRS https://www.cnrs.fr/en/press/neanderthal-cord-weaver
2. Rope making in the Aurignacian of Central Europe more than 35,000 years ago · Science Advances (PubMed Central) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10830101/
3. Archaeologist Kathryn Bard's amazing Egyptian digs · Boston University https://www.bu.edu/articles/2009/archaeologist-kathryn-bard%e2%80%99s-amazing-egyptian-digs/
4. The Ropery · The Historic Dockyard Chatham https://thedockyard.co.uk/attractions/the-ropery
5. Rope · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Rope
6. Ropewalk · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ropewalk
7. The ancient art of laying rope · Europhysics Letters (arXiv) https://arxiv.org/abs/1004.0814
8. Plymouth Cordage Company Ropewalk · Mystic Seaport Museum https://mysticseaport.org/?p=355570
9. Hawser-laid · Practical Boat Owner https://www.pbo.co.uk/nautical-almanac/glossary-of-nautical-terms/hawser-laid-9204
10. Three strand hawser laid rope · Lifting Equipment Engineers Association https://copsule.leeaint.com/copsule/en-GB/latest/id-b54f2a33-5063-40e7-f243-517683d1bf63.html

Datos verificados el 2026-10-11

II

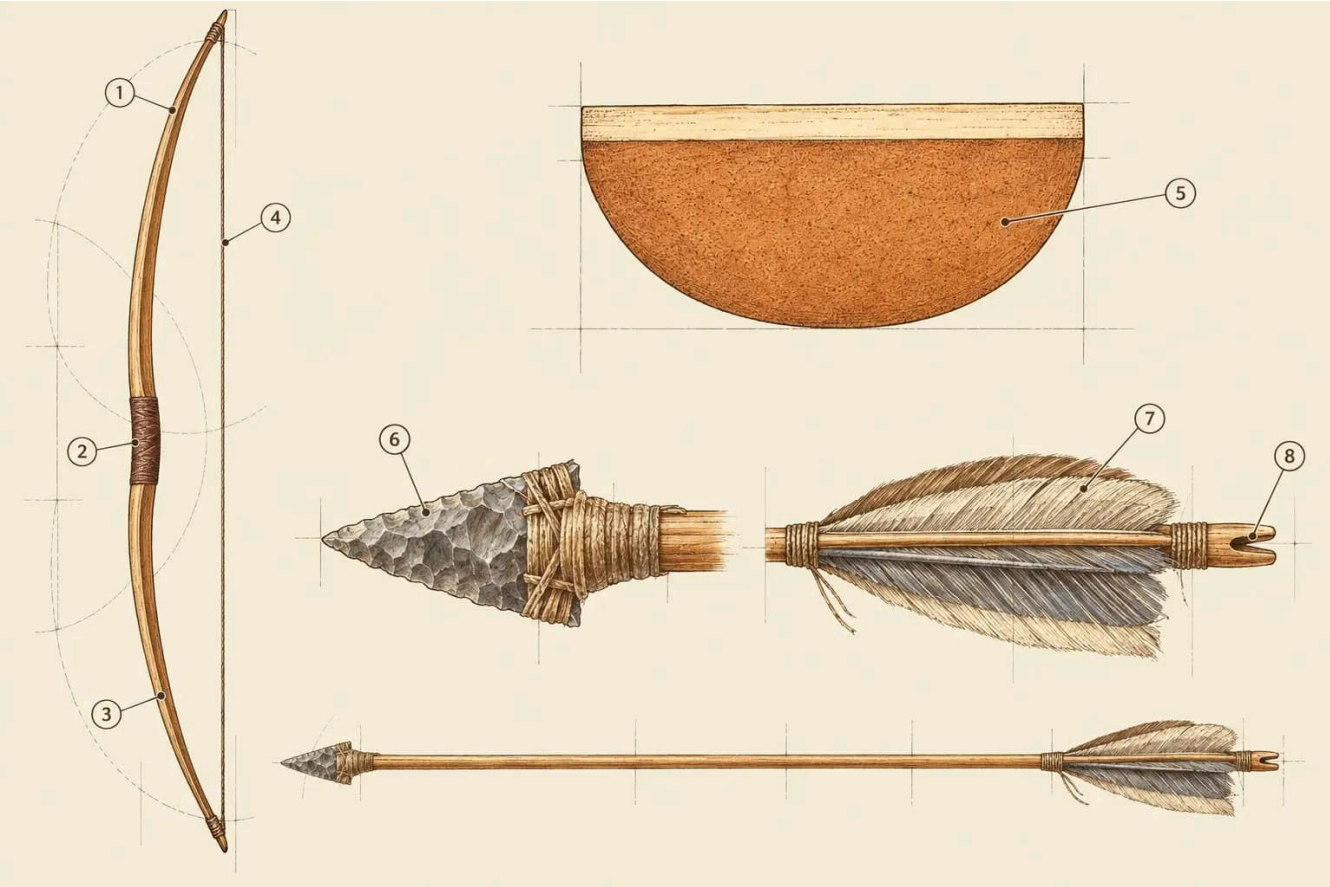
Asentamiento

Arco y flechas

Energía almacenada liberada a distancia

hace 62.000 años · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5), Cuerda y cordaje (p. 13)



1 Pala superior 2 Empuñadura 3 Pala inferior 4 Cuerda 5 Sección de una pala: albura en la espalda, duramen en el vientre
6 Punta de sílex atada con tendón 7 Emplumado 8 Culatín

El arco acumula en sus palas dobladas el esfuerzo de los brazos del arquero y lo libera en una fracción de segundo, de modo que lanza la flecha mucho más rápido y más lejos de lo que podría arrojarla una mano. Unas pequeñas puntas de piedra halladas en Sudáfrica indican que ya se disparaban flechas hace unos 64 000 años, y el arco siguió siendo un arma de caza y de guerra hasta que lo desplazaron las armas de fuego.

Qué es

Un arco es una vara flexible, casi siempre de madera, con una cuerda atada entre sus dos extremos, y funciona como un muelle que se sostiene con la mano. Al tensar la cuerda, la vara se dobla; al soltarla, la vara se endereza y la cuerda lanza la flecha hacia delante. La flecha es un astil ligero y recto, con una punta afilada delante y plumas detrás que la hacen volar con la punta por delante.

El arco de la lámina es un arco simple, hecho de una sola pieza de madera, del tipo del arco largo inglés: una duela de tejo más o menos tan alta como el arquero, plana en la espalda y redondeada en el vientre, de modo que su sección recuerda una letra D. Muchos arcos combinan, en cambio, varios materiales. Los arcos compuestos de Asia

se hacen de cuerno, madera y tendón pegados entre sí, y varios pueblos de Norteamérica pegaban una capa de tendón a lo largo de la espalda de un arco de madera.

Cómo funciona

Las dos caras de un arco doblado trabajan en sentido contrario. La espalda, la cara opuesta al arquero, se estira; el vientre, la cara que mira hacia él, se comprime. La madera resiste las dos cosas, así que el esfuerzo empleado en tensar el arco se acumula en las palas como energía elástica, igual que en un muelle al que se da cuerda. Un arco de caza suele pedir una tracción de unos 180 a 270 newtons (40 a 60 libras) en plena apertura, y los pesados arcos de guerra necesitaban mucho más.

El tejo se presta al arco simple porque su tronco contiene dos clases de madera. La albura clara, bajo la corteza, aguanta bien el estiramiento, y el duramen, más oscuro, aguanta bien el aplastamiento. Los artesanos dejan una capa de albura en la espalda y duramen en el vientre, como muestra la sección de la lámina. Con la mayoría de las demás maderas, el arco se talla solo en albura o solo en duramen, y su espalda sigue un mismo anillo de crecimiento de punta a punta.

Cuando el arquero suelta, las palas saltan hacia delante y la cuerda empuja la flecha. No toda la energía acumulada llega a ella, porque las palas y la cuerda también se mueven y se quedan con una parte. Unas palas ligeras que se doblan de manera uniforme desperdician menos que unas pesadas. Las flechas disparadas con arcos de madera suelen salir a entre 40 y 60 metros por segundo.

El empuje es tan brusco que la flecha se flexiona y vibra al salir, y se curva alrededor de la empuñadura del arco. Los arqueros lo llaman la paradoja del arquero. Para que la flecha vuele recta, su rigidez, llamada spine, tiene que corresponder a la potencia del arco, teniendo en cuenta la longitud de la flecha y el peso de su punta, que influyen en cuánto se flexiona. Las plumas frenan la flecha por detrás de su punto de equilibrio, de modo que cualquier bamboleo devuelve la punta a la línea de vuelo, como hacen las aletas de un dardo. Una punta más pesada adelanta el punto de equilibrio y estabiliza el vuelo, pero también hace que el astil se flexione más.

Cómo construirlo

Para un arco simple hacen falta un hacha de mano o una cuchilla de dos mangos, una escofina, una rasqueta, un cuchillo, una cuerda larga, una balanza de resorte y un tiller: un poste vertical con un apoyo para la empuñadura en lo alto y una serie de muescas a lo largo.

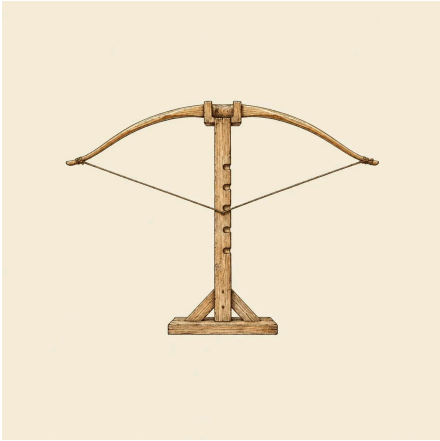
Elegir la duela. Busca un trozo de madera tenaz y elástica, de fibra recta, sin nudos ni revirados: tejo, naranjo de Luisiana, olmo, fresno, hickory o arce. Rájalo del tronco en lugar de serrarlo, para que la fibra recorra toda la pieza. Sella los extremos y déjalo secar despacio a cubierto durante varios meses, a ser posible un año.

Preparar la espalda. La espalda es la cara que quedaba bajo la corteza. En la mayoría de las maderas, quita la corteza y sigue un mismo anillo de crecimiento de punta a punta sin cortarlo: un anillo cortado es el sitio por donde se rompe un arco. En el tejo, conserva una capa fina de albura.

Desbastar la forma. Marca una línea central y dibuja el contorno: una empuñadura estrecha y gruesa en el centro y unas palas que se afinan hacia las puntas. Para un arco largo, la duela mide más o menos la estatura del arquero. Quita madera solo del vientre, hasta que cada pala ceda un poco al apoyar la punta en el suelo y empujar la empuñadura.

Equilibrar el arco. Talla ranuras para la cuerda cerca de las puntas, coloca una cuerda larga y apoya el arco por la empuñadura en el tiller. Baja la cuerda de muesca en muesca, lee la tracción en la balanza y estudia la curva. No

tires nunca con más fuerza que la potencia que buscas, o forzarás una duela que aún no está terminada. Las dos palas deben doblarse en arcos suaves y regulares, sin tramos rígidos ni puntos que se doblen de golpe. Deja subir la cuerda despacio y saca el arco del tiller antes de tocarlo con una herramienta: no raspes nunca una pala que esté en tensión. Luego raspa madera del vientre donde una pala esté demasiado rígida, unas pocas virutas cada vez, y flexiona el arco una docena de veces entre una pasada y otra. Detente un poco antes de llegar a tu apertura completa y a la potencia deseada. Es la fase más lenta. Un tramo corto que se dobla más que el resto, una bisagra, soporta demasiado esfuerzo, y es ahí donde un arco suele agrietarse.



En el tiller, el arco se tensa un poco más en cada paso, para que el artesano pueda comparar la curva de las dos palas.

Hacer la cuerda. Retuerce la cuerda con lino, cáñamo, tendón o hilo moderno de poliéster, con una gaza fija en un extremo y un nudo de leñador en el otro. Con el arco encordado, la cuerda debe quedar a más o menos un ancho de mano de la empuñadura. Vuelve a poner el arco encordado en el tiller, con su cuerda definitiva, y ténsalo por etapas hasta la apertura completa: las dos palas deben seguir doblándose por igual y la balanza debe marcar la potencia prevista. Quita las últimas virutas solo donde esta prueba revele un punto rígido, siempre con la cuerda destensada y el arco fuera del tiller.

Tres plumas de la misma ala, pegadas y atadas por los dos extremos, mantienen la flecha en su trayectoria.

Hacer las flechas. Corta varas rectas de cornejo, viburno o avellano, o raja astiles de un tronco recto. Enderézalos con calor suave y ráspalos hasta dejarlos redondos. Clasifícalos por rigidez, córtalos todos a la misma longitud y ponles puntas del mismo peso, para que las flechas de un mismo arco vuelen igual. Haz cada flecha lo bastante larga para tu apertura completa, de modo que la punta siga por delante del arco cuando está tensado del todo. Talla en la parte trasera una muesca para la cuerda, el culatín. Delante, ata una punta de piedra, hueso o metal con tendón y un adhesivo como la brea de abedul, o pon una punta roma de madera para practicar. Pega tres plumas de la misma ala a lo largo del astil, cerca del culatín y a igual distancia unas de otras, y ata sus extremos.

> **Seguridad.** Un arco es un arma, sea cual sea su potencia. No apuntes nunca a nadie y tira solo en un campo con parapeto y sin nadie detrás. No sueltes nunca una cuerda tensada sin flecha: la energía pasa al arco, que puede romperse y lanzar astillas. Ponte gafas de protección mientras equilibras y pruebas el arco, revisa antes de cada sesión que el arco, la cuerda y los astiles y culatines de todas las flechas no tengan grietas, y usa flechas lo bastante largas y rígidas para el arco. El polvo de tejo es tóxico y el de otras maderas puede dañar los pulmones y la piel, así que retira el polvo en el mismo punto donde se produce y ponte una mascarilla bien ajustada, con un filtro adecuado, cuando trabajes con la escofina o la lija, incluso al aire libre; ten cuidado con la fuente de calor al enderezar los astiles. La caza con arco está regulada o prohibida en muchos países.

Historia y evolución

Arcos y flechas se hacen de madera, tendón y plumas, que rara vez se conservan, así que los comienzos del tiro con arco hay que leerlos en las puntas de piedra. En la cueva de Sibudu, en KwaZulu-Natal (Sudáfrica), unas pequeñas puntas de piedra de unos 64 000 años muestran daños de impacto, rastros de sangre y hueso y restos de

la cola de resina vegetal que las sujetaba a un astil, lo que hace pensar que armaban flechas. Algunos investigadores han propuesto puntas de flecha más antiguas, de unos 74 000 años, en Shinfa-Metema 1 (Etiopía), una interpretación que otros trabajos aún tienen que confirmar. En Europa, el indicio probable más antiguo procede de la Grotte Mandrin, en el sur de Francia: puntas de sílex de unos 54 000 años, dejadas por humanos modernos y demasiado pequeñas para haberse lanzado a mano.

Los astiles de flecha más antiguos que se conocen, de pino, proceden de Stellmoor, cerca de Hamburgo, y tienen unos 12 000 años. El arco completo más antiguo, de olmo, apareció en la turbera de Holmegaard, en Dinamarca, y data de hacia el 7000 a. C. Ötzi, el hombre que murió en los Alpes hace unos 5300 años, llevaba una duela de tejo sin terminar y un carcaj de piel de ciervo con 14 flechas; solo dos estaban acabadas, con punta de sílex y plumas fijadas con brea de abedul y fibra vegetal.

En las estepas de Asia y en Oriente Próximo, los artesanos desarrollaron el arco compuesto, formado por un alma fina de madera con cuerno en el vientre y tendón en la espalda, todo unido con cola. Es más corto que un arco simple de la misma potencia, lo que convenía a los arqueros que tiraban desde carros y a caballo, y armó a escitas, hunos, mongoles y turcos otomanos.

Sin cuerda, un arco compuesto se curva hacia delante, lejos del arquero; al encordarlo se dobla en sentido contrario y acumula energía antes incluso de tensarlo.

En Europa occidental, el arco largo de tejo sirvió a los ejércitos ingleses en Crécy en 1346 y en Agincourt en 1415. El *Mary Rose*, buque de guerra de Enrique VIII hundido en 1545, ha devuelto 172 arcos largos, cada uno tallado en una sola pieza de tejo y de hasta 2,11 m de largo. Las armas de fuego tardaban más en cargarse, pero un soldado aprendía a usarlas mucho antes de lo que se tardaba en formar a un arquero, y a lo largo de los siglos XVI y XVII las armas de fuego expulsaron el arco de los campos de batalla europeos. Siguió siendo un arma de caza en muchas partes del mundo, y el tiro con arco se convirtió en un deporte, que hoy se practica con arcos de fibra de vidrio y de carbono y con arcos de poleas.

Cifras clave

Primeras puntas de flecha
Hace unos 64 000 años, cueva de Sibudu (Sudáfrica)

El equipo de tiro de Ötzi
Duela de tejo sin terminar de 1,82 m, 14 flechas, 2 de ellas acabadas

Arco completo más antiguo
Holmegaard (Dinamarca), de olmo, hacia el 7000 a. C.

Arcos largos del Mary Rose (hundido en 1545)
172 recuperados, potencia estimada de 65 a 175 libras (290 a 780 N)

Fuentes

1. Indications of bow and stone-tipped arrow use 64 000 years ago in KwaZulu-Natal, South Africa · Antiquity (Lombard and Phillipson, 2010) https://resolve.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/indications-of-bow-and-stonetipped-arrow-use-64-000-years-ago-in-kwazulunatal-south-africa/89AF638BE5E64CEAC63363EFDD4D5E8F
2. Surviving a volcanic supereruption may have facilitated human dispersal out of Africa · University of Texas at Austin https://news.utexas.edu/2024/03/20/surviving-a-volcanic-supereruption-may-have-facilitated-human-dispersal-out-of-africa/
3. Earliest likely evidence for bow and arrow use in Europe, 54,000 years ago, found in southern France · Popular Archaeology https://popular-archaeology.com/article/earliest-likely-evidence-for-bow-and-arrow-use-in-europe-54000-years-ago-found-in-southern-france/
4. How old is the bow and arrow? · World Archery https://www.worldarchery.sport/news/166330/
5. Ötzi's equipment · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/equipment/
6. The longbows of the Mary Rose · Mary Rose Trust https://maryrose.org/ship/bows1.htm
7. Standardised Equipment or Specialist Groups? The Role of Archery Aboard Mary Rose · University of Southampton (Parkes, PhD thesis, 2024) https://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/500151/
8. On the Mechanics of the Bow and Arrow · Rijksuniversiteit Groningen (Kooi, PhD thesis, 1983) https://www.bio.vu.nl/thb/users/kooi/thesis.pdf

Datos verificados el 2026-10-12

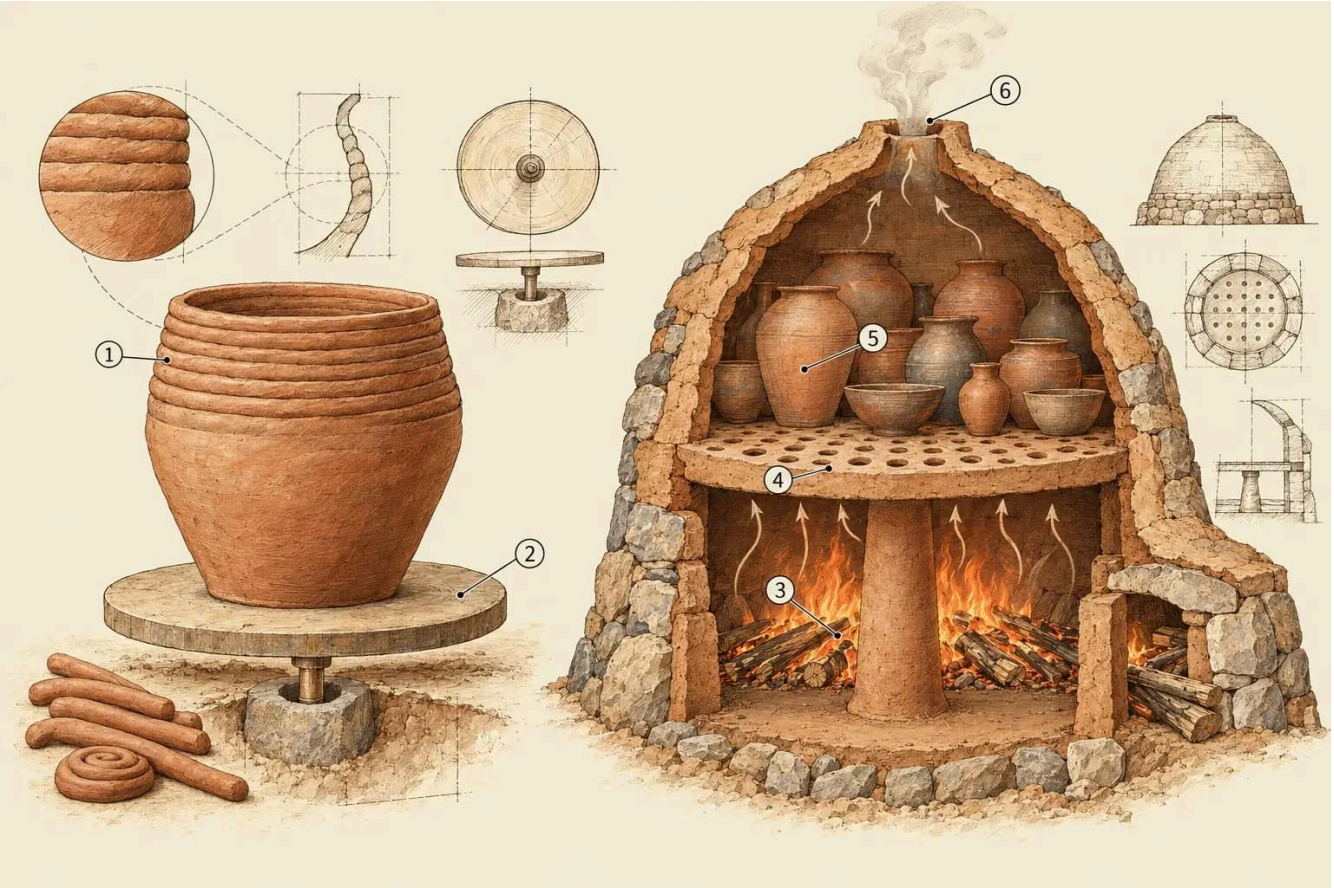
Cerámica

Arcilla convertida en piedra por el fuego

hace 18.000 años · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9)

Conduce a: Cerveza (p. 77), Bronce (p. 123), Queso (p. 57), Destilación (p. 173), Agua potable (p. 35), Teñido (p. 69), Vidrio (p. 132), Medidas y patrones (p. 127), Papel (p. 169), Torno de alfarero (p. 119), Salazón (p. 48), Jabón (p. 93), Escritura (p. 85)



1 Churros de arcilla 2 Torneta 3 Cámara de combustión 4 Parrilla perforada 5 Vasijas en la cámara de cocción 6 Respiradero

La cerámica es arcilla modelada en húmedo y cocida luego hasta que se transforma para siempre en un material duro, parecido a la piedra. Unos cazadores-recolectores del sur de China ya hacían vasijas de barro, probablemente para cocinar, hace unos 20 000 años, mucho antes de la agricultura.

Qué es

La cerámica abarca todo objeto de arcilla endurecido por el fuego, desde ollas y tinajas hasta lámparas y tejas. Los alfareros las agrupan en tres clases según la pasta y la temperatura de cocción: la loza o barro cocido, porosa; el gres, denso; y la porcelana, blanca y vítrea.

Una olla de arcilla basta y bien desgrasada puede calentarse poco a poco al fuego, de modo que la comida puede hervirse y guisarse además de asarse, y las tinajas con tapa, guardadas en un lugar seco, mantienen el grano a salvo de los ratones.

La lámina muestra cómo se forma y se cuece una vasija: se levanta a mano con churros de arcilla y luego se cuece en un sencillo horno de tiro ascendente.

Cómo funciona

La arcilla se compone de cristales planos microscópicos, sobre todo silicatos de aluminio. En húmedo, las láminas resbalan unas sobre otras gracias a películas de agua, y la arcilla se modela y conserva la forma. Al secarse, las láminas se compactan y la vasija merma unas cuantas centésimas de su tamaño. La arcilla seca es firme, pero con la lluvia volvería a ser barro.

Una antigua vasija japonesa Jōmon, con la superficie marcada al hacer rodar un cordel retorcido sobre la arcilla húmeda.

En el fuego, entre unos 450 y 650 °C según la arcilla, sale el agua ligada en los cristales y su estructura se rompe: la arcilla ya no podrá ablandarse con agua. A más temperatura, los granos empiezan a soldarse donde se tocan. La loza sigue siendo porosa. A las temperaturas del gres, parte de la pasta se funde en un vidrio que rellena los poros, y la vasija retiene el agua sin vidriado. La porcelana, de una pasta blanca rica en caolín cocida a alta temperatura, se vuelve dura y algo translúcida.

Una cocción al aire libre: las vasijas se entierran en el combustible y se cuecen en el suelo, sin horno.

A la arcilla se le añade un desgrasante, como arena, concha triturada o cerámica vieja molida, que abre la pasta para que escape el vapor y reduce las grietas al secarse y al calentarse.

Las primeras vasijas se cocían en hogueras o en fosas poco profundas, a entre 600 y 900 °C. El horno retiene el calor. En el horno de tiro ascendente de la lámina, el fuego arde abajo, en la cámara de combustión, y los gases suben por los agujeros de una parrilla de barro, rodean las vasijas apiladas y salen por un respiradero superior. Las vasijas ya no están entre el combustible encendido, así que el calor es más uniforme y fácil de controlar, y se agrietan menos.

Cómo hacerlo

Basta arcilla del suelo, unas pocas herramientas sencillas y una hoguera para hacer buena loza. Los pasos siguientes son un esquema.

Buscar y preparar la arcilla. Se enrolla un churro fino y se dobla en anillo: si no se agrieta, la arcilla es bastante plástica. Se remoja hasta hacer una papilla, se deja que las piedras se posen, se vierte la parte de arriba y se seca hasta poder amasarla. Luego se le incorpora arena o cerámica cocida triturada, empezando por una cuarta parte de su volumen, y se cuecen unas pequeñas piezas de prueba para ajustar la mezcla.

Levantar con churros. Se aplana un disco para la base. Se hacen churros del grueso de un dedo y se colocan encima uno a uno, pellizcando y alisando cada uno contra el anterior por dentro y por fuera, sobre una tabla o una torneta para poder girar la vasija. Las paredes se adelgazan e igualan golpeándolas con una paleta de madera contra una piedra sostenida por dentro.

Secar despacio. La vasija se guarda del sol y del viento una semana o más. Con la dureza del cuero, puede bruñirse frotándola con un canto liso. Solo se cuece seca del todo, cuando ya no se nota fría al tacto.

Cocer. Las vasijas se calientan junto al fuego una o dos horas, dándoles la vuelta. Después se apilan sobre las brasas, se cubren con leña y estiércol y se aviva el fuego varias horas. Todo se deja enfriar despacio entre las cenizas antes de sacarlas.

> **Seguridad.** Solo se cuece al aire libre, lejos de edificios: hay que despejar el terreno, tener agua a mano, vigilar el viento y apartarse del humo. La arcilla húmeda puede estallar y lanzar fragmentos cortantes, y las cenizas calientes son peligrosas durante horas. El polvo de arcilla seca contiene sílice fina que daña los pulmones: es mejor limpiar en húmedo que barrer. Las vasijas hechas así son experimentales y no deben tocar alimentos salvo que se hayan analizado la arcilla y la pieza acabada. Nunca hay que usar vidriados de composición desconocida: el plomo puede pasar a la comida.

Historia y evolución

La arcilla cocida es más antigua que las vasijas. En Dolní Věstonice, en la actual República Checa, se hicieron figurillas de arcilla cocida entre el 29 000 y el 25 000 a. C., aproximadamente, pero ningún recipiente.

Las vasijas más antiguas conocidas proceden de la cueva de Xianrendong, en la provincia china de Jiangxi. En 2012, un equipo dirigido por Wu Xiaohong y Ofer Bar-Yosef dató los tiestos más antiguos, algunos con hollín y marcas de quemado que sugieren que se usaron para cocinar, en unos 20 000 a 19 000 años de antigüedad, en pleno máximo de la última glaciación. Para algunos investigadores, los estratos de la cueva están demasiado revueltos para tener certeza, pero otras cerámicas tempranas de Asia oriental confirman que los cazadores-recolectores de la Edad del Hielo hacían vasijas. En Ōdai Yamamoto, en el norte de Japón, unos tiestos con restos de comida carbonizada se han fechado entre hace unos 16 500 y 15 000 años, según el estudio. En el Próximo Oriente ocurrió al revés: las primeras aldeas agrícolas pasaron sin vasijas más de dos mil años.

El horno de alfarero más antiguo conocido en Oriente Medio, en Yarim Tepe, en el norte de Irak, data de hacia el 6000 a. C. o algo antes. Hacia el 3500 a. C., los alfareros del Próximo Oriente usaban tornetas lentas para formar vasijas de churros, y el torno rápido, lo bastante pesado para seguir girando mientras el alfarero levantaba una pieza de una pella de arcilla, llegó en el III milenio a. C.

Los hornos chinos alcanzaban unos 1000 °C antes del 2000 a. C., y los hornos de dragón, que suben por las laderas, llegaban a 1300 °C. Eso hizo posible el gres y, para la época de la dinastía Tang (618–907), la porcelana blanca.

Un torno de alfarero primitivo: una pesada cabeza de madera que gira sobre un pivote encajado en una piedra.

Cifras clave

Vasijas más antiguas conocidas

Cueva de Xianrendong, China, hace unos 20 000–19 000 años

Horno de alfarero más antiguo conocido en Oriente Medio

Yarim Tepe, Irak, h. 6000 a. C. o algo antes

Punto sin retorno

Unos 450–650 °C, según la arcilla: ya no se ablanda en agua

Temperaturas de cocción

Loza 600–1200 °C, gres 1100–1300 °C, porcelana hasta 1400 °C

Fuentes

1. Pottery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pottery
2. Kiln · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kiln
3. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
4. Oldest pottery comes from Chinese cave · Science News https://sciencenews.org/?p=8772
5. The First Pots (Top 10 Discoveries of 2012) · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/january-february-2013/collection/top-10-2012-neolithic-china-pottery/top-10-discoveries-of-2012/
6. Firing Clay: The Lowdown on the Ceramic Firing Process · Ceramic Arts Network https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Firing-Clay-The-Lowdown-on-the-Ceramic-Firing-Process
7. Quartz Inversion · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/quartz+inversion
8. Water Smoking · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/water+smoking
9. Red heat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Red_heat

Datos verificados el 2026-10-11

Pan

Grano molido, agua y calor

hace 12.400 años · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9)

Conduce a: Cerveza (p. 77)

1 Molino de vaivén 2 Masa fermentada 3 Bóveda del horno 4 Solera 5 Brasas 6 Pala de horno

El pan es una masa de grano molido y agua, a menudo fermentada, que se cuece hasta que cuaja. Unos cazadores-recolectores de Jordania ya cocían pan plano hace unos 14 400 años, antes de que nadie cultivara cereales.

Qué es

El pan es harina mezclada con agua, formada y cocida con calor seco. Casi siempre lleva sal, y la mayoría de los panes fermentan: la levadura o la masa madre los llenan de burbujas de gas, de modo que suben y al cocerse dan una miga esponjosa. Los panes planos sin fermentar se saltan ese paso y se cuecen en minutos sobre una piedra caliente o en la pared de un horno.

El grano cocido se conserva mal y el crudo es indigesto. El pan hace de los cereales un alimento fácil de llevar que se conserva varios días, y en muchas dietas aporta la mayoría de las calorías. La lámina sigue la secuencia antigua: grano molido en un molino de vaivén, masa que sube en una artesa de madera y hogazas cocidas sobre la solera de un horno de bóveda.

Escanda menor, trigo almidonero y cebada, los cereales de los primeros panes del Próximo Oriente.

Cómo funciona

La harina de trigo contiene dos familias de proteínas, gluteninas y gliadinas. Al añadir agua y amasar, se enlazan y forman el gluten, una red elástica que se estira y retiene gas. Las proteínas del centeno y de la cebada no forman una red elástica comparable; el pan de centeno se sostiene sobre todo gracias a su almidón y sus gomas, y por eso estos panes son densos.

Las levaduras, hongos unicelulares del grano y del aire, se alimentan de los azúcares que libera el almidón y desprenden dióxido de carbono y algo de alcohol. El gluten atrapa el gas en bolsas diminutas y la masa se hincha. La masa madre une levaduras silvestres y bacterias lácticas, que dan un sabor ácido y ayudan a conservar el pan.

En el horno, el gas y el agua se dilatan y la pieza sube deprisa los primeros minutos. Entre unos 60 y 80 °C, el almidón absorbe agua y se hincha, y las proteínas cuajan: la espuma blanda se convierte en una miga firme. En la superficie, donde la masa se seca y se calienta mucho más, azúcares y proteínas reaccionan y se doran formando la corteza. El pan está hecho cuando el centro se acerca a los 100 °C.

El horno de leña funciona con calor acumulado. El fuego arde en la bóveda hasta calentar del todo la obra; luego se apartan o se sacan las brasas y se meten los panes con la pala. Los gruesos muros devuelven el calor durante una hora o más.

Cómo hacerlo

Hacen falta trigo, un modo de molerlo, masa madre y un horno. Estos pasos dan dos hogazas de trigo con masa madre; el centeno y la cebada requieren otras recetas.

Hacer harina. Se muele trigo o espelta limpios y secos entre dos piedras. Para un pan más ligero se separa el salvado grueso con un tamiz.

Preparar la masa madre. Se mezclan pesos iguales de harina integral y agua en un tarro, se tapa sin cerrar y se guarda en un sitio templado. Cada día se guardan unos 100 g, se tira el resto y se alimenta con 100 g de harina y 100 g de agua, a entre 20 y 27 °C. A los cinco o diez días debe burbujear y doblar su volumen pocas horas después de cada refresco.

Mezclar y amasar. Para dos hogazas: 1 kg de harina, 650–700 g de agua, 20 g de sal y unos 200 g de masa madre activa. Se amasa diez minutos, hasta que esté lisa y elástica.

Dejar fermentar. La masa reposa tapada de cuatro a ocho horas, según el calor; luego se divide en dos, cada mitad se bolea prieta y sube otra vez en un cesto enharinado o un paño durante una a tres horas, hasta que crece aproximadamente la mitad y una marca hecha con la yema del dedo se recupera despacio.

Calentar el horno. Se quema leña dura y seca en una bóveda de barro o ladrillo durante una o dos horas, hasta que el hollín del interior de la bóveda se ha quemado y la obra se ve blanquecina. Se retiran las brasas, se pasa un paño húmedo por la solera y se meten los panes con la pala. Se cuecen unos 40 minutos; la base debe sonar hueca al golpearla.

> **Seguridad.** La solera y las paredes del horno queman gravemente: hay que usar pala larga y guantes gruesos, y no asomarse nunca a la boca. Se trabaja al aire libre, porque un fuego sin llama en un cuarto cerrado desprende monóxido de carbono. Se desecha el grano enmohecido o con cornezuelo, unos cuerpos negros y venenosos en forma de cuerno. El tarro de la masa madre debe estar limpio; si aparece cualquier moho, se tira toda la masa madre y se escalda el tarro.

Historia y evolución

Un pan carbonizado sepultado por el Vesubio en el 79 d. C., marcado en ocho porciones antes de cocerlo.

En 2018, un equipo dirigido por Amaia Arranz-Otaegui describió migas carbonizadas de dos hogares de Shubayqa 1, un yacimiento del noreste de Jordania ocupado por cazadores-recolectores natufienses hace unos 14 400 años. Al microscopio electrónico resultaron ser una especie de pan plano, de cereales silvestres como la escanda menor mezclados con tubérculos molidos de castañuela, unos 4000 años anterior a la agricultura en la región.

El antiguo Egipto hacía el pan con trigo almidonero, que había que machacar para soltar el grano de las glumas antes de molerlo en molinos de vaivén. La arqueobotánica Delwen Samuel examinó al microscopio panes desecados y halló células de levadura conservadas en pan de hacia el 1400 a. C., la prueba directa más antigua de levadura en la panificación.

En Roma la panadería se convirtió en un oficio. Los arqueólogos han documentado 39 panaderías en Pompeya, con molinos de piedra movidos por asnos y hornos de bóveda, y se conservan panes carbonizados en la erupción del 79 d. C. Plinio el Viejo señaló que galos e íberos usaban la espuma de la cerveza para hacer subir un pan más ligero.

Durante siglos, la mayoría comió panes bastos de centeno, cebada o granos mezclados; el pan blanco de trigo fino era un lujo. En el siglo XIX, los molinos de cilindros abarataron la harina blanca, y la levadura comercial sustituyó a la masa sobrante y a la espuma de los cerveceros. En 1961, el método británico Chorleywood sustituyó la larga primera fermentación por unos minutos de amasado mecánico intenso, y la mayor parte del pan industrial británico se sigue haciendo así.

Un molino pompeyano: la piedra superior, en forma de reloj de arena, gira sobre un cono fijo y el grano se muele entre ambas.

Cifras clave

Pan más antiguo conocido

Shubayqa 1, Jordania, hace unos 14 400 años

Primera prueba directa de levadura en el pan

Panes egipcios, h. 1400 a. C.

Masa típica

100 partes de harina, 60–75 de agua, unas 2 de sal

Cocción

Unos 40 minutos a 220–250 °C para una pieza de unos 900 g

Fuentes

1. Bread · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bread
2. Flatbread Baked 14,400 Years Ago Found in Jordan · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/natufian-flatbread-jordan-06210.html
3. 3500 year old bread and beer from the New Kingdom Egypt · UCL Researchers in Museums https://blogs.ucl.ac.uk/researchers-in-museums/2017/02/09/3500-year-old-bread-and-beer-from-the-new-kingdom-egypt
4. Digging Deeper into Pompeii's Past · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/july-august-2019/collection/pompeii-industry-bakeries/digging-deeper-into-pompeiis-past/
5. Adjusting Bake Times in New Ovens · BAKERpedia https://bakerpedia.com/?p=39416
6. Yeast Kill · BAKERpedia https://bakerpedia.com/processes/yeast-kill/
7. Relating Bread Baking Process Operating Conditions to the Product Quality: a Modelling Approach · Chemical Engineering Transactions https://doi.org/10.3303/CET1439289

Datos verificados el 2026-10-11

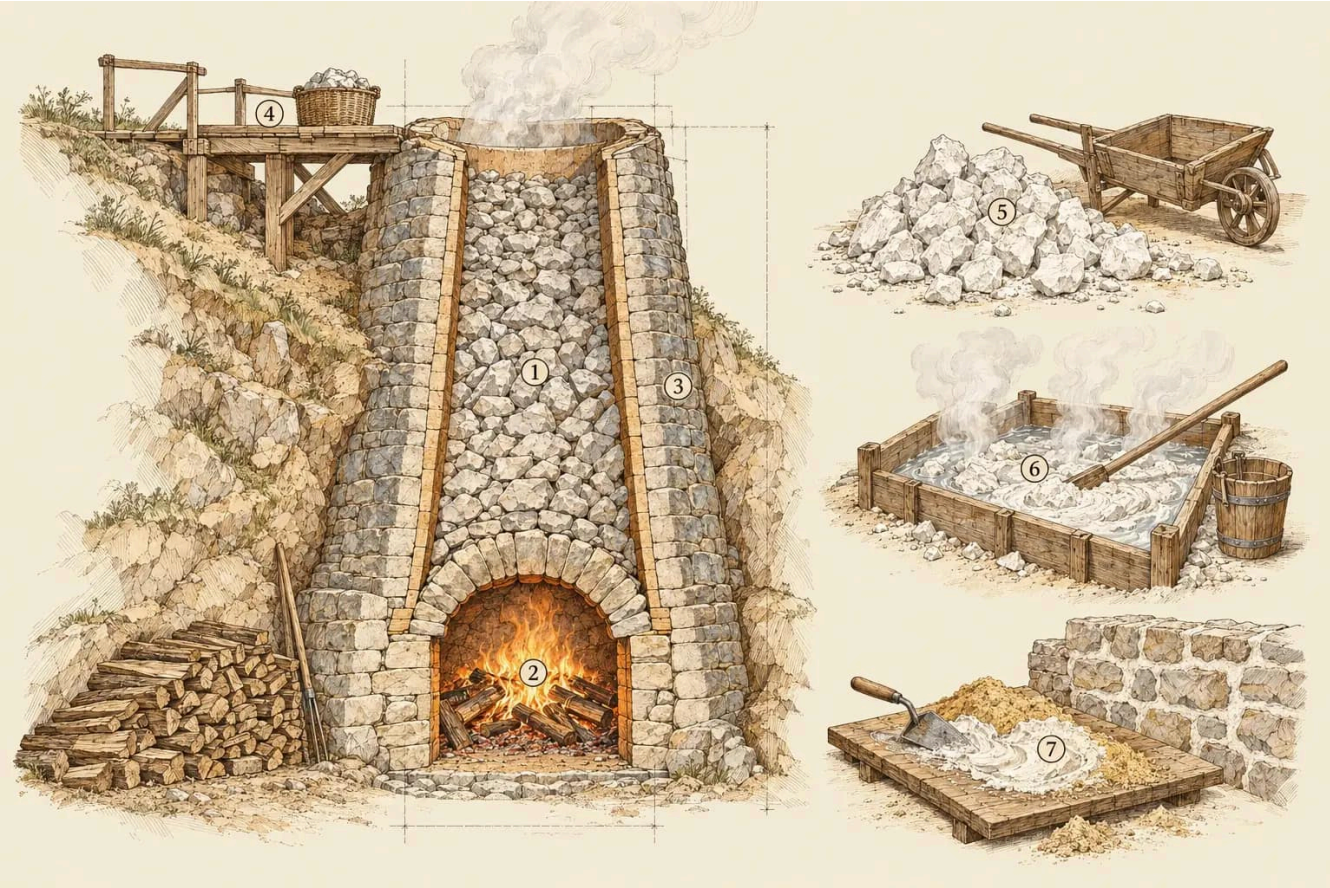
Cal y mortero de cal

Piedra cocida que vuelve a ser piedra

hace 10.000 años · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9), Herramientas de piedra (p. 5)

Conduce a: Acueducto (p. 145), Cemento Portland (p. 256), Hormigón romano (p. 165)



1 Carga de piedra caliza 2 Fuego de leña bajo el arco de piedras 3 Muro grueso del horno con su revestimiento interior
4 Plataforma de carga en lo alto 5 Cal viva sacada del horno 6 Pozo de apagado: agua, vapor y pasta
7 Mortero de pasta y arena, puesto en un muro

La cal es piedra caliza cocida en un horno hasta que suelta su dióxido de carbono, y después apagada con agua hasta formar una pasta o un polvo blanco. Mezclada con arena se usa desde hace milenios como mortero y enlucido, y fragua al recuperar del aire ese dióxido de carbono y volver a ser piedra.

Qué es

La cal es un aglomerante blanco que se obtiene de la caliza, la creta o las conchas, todas ellas carbonato de calcio. Al cocerla, la piedra se convierte en cal viva; con agua, la cal viva pasa a ser cal apagada, en forma de pasta blanda o de polvo seco. Mezclada con arena, la cal apagada da el mortero en que se asientan piedras y ladrillos, y el enlucido de paredes y suelos.

Una vez puesto, el mortero toma poco a poco el dióxido de carbono del aire y vuelve a ser carbonato de calcio, la sustancia de la que partió. Los albañiles llaman a ese viaje de ida y vuelta el ciclo de la cal; la lámina lo sigue desde

el horno, a la izquierda, hasta el muro, a la derecha.

Cómo funciona

La cocción. Por encima de unos 700 °C, y con rapidez hacia los 900 °C, el carbonato de calcio se descompone en óxido de calcio y dióxido de carbono, que se va con el humo. Una caliza pura pierde el 44 % de su peso, pero los trozos conservan su forma y salen ligeros, porosos y blanquecinos. Vitruvio ya había notado la pérdida y la calculaba en un tercio.

En un horno tradicional, el calero levanta una bóveda de piedras grandes sobre el canal del fuego y luego llena la cuba con trozos cada vez más pequeños. El fuego se alimenta por la boca de abajo durante dos o tres días. Catón, hacia el 160 a. C., da las señales de que la cocción ha terminado: las piedras de arriba están cocidas del todo, la carga se hunde por abajo y la llama sale con menos humo. Después el horno se enfría varios días antes de vaciarlo.

El apagado. La cal viva reacciona con el agua para formar hidróxido de calcio y desprende mucho calor. El agua puede hervir, y los terrones se hinchan y estallan en una masa blanca muy fina. Con mucha agua se obtiene pasta de cal; con la justa, un polvo seco, la cal hidratada que se vende en sacos. La pasta mejora con el tiempo: hasta mediados del siglo XIX se dejaba madurar en una fosa o un cajón de madera desde unas semanas hasta un año, tapada para que el aire no la endureciera.

El apagado: los terrones se hinchan, se agrietan y se deshacen mientras el agua se calienta.

El fraguado. En el muro, la arena forma el cuerpo del mortero y la cal llena los huecos entre los granos. A medida que el agua se evapora, el hidróxido de calcio capta dióxido de carbono del aire y vuelve a ser carbonato de calcio. Esta carbonatación empieza en la superficie y avanza despacio hacia dentro. Un mortero que se seca demasiado deprisa queda débil.

Un mortero de cal pura suele ser más blando y más permeable que las piedras o los ladrillos que une: el muro puede asentarse un poco y sigue secándose a través de sus juntas. Una caliza con arcilla da una cal hidráulica, que fragua también bajo el agua.

Cómo construirlo

Compre cal viva en terrones a un proveedor de restauración de edificios, apáguela y luego amase el mortero y levante un murete de jardín con piedras. Con pasta de cal ya hecha, sáltese el apagado y pase directamente al amasado.

Apagar la cal. Llene de agua hasta la mitad una cuba de acero. Con gafas, guantes y manga larga, eche la cal viva en el agua poco a poco, nunca el agua sobre la cal, y apártese mientras se calienta. Remueva con una pala larga de madera. Cuando se enfríe, pásela por un tamiz a un bidón con tapa, deje que la pasta se asiente bajo unos centímetros de agua y espere al menos unas semanas.

Amasar el mortero. Use arena limpia y angulosa, con granos de todos los tamaños, a razón de un volumen de pasta por tres de arena. Bata y corte la mezcla durante largo rato con la batidera o con una pala, añadiendo la menor cantidad de agua posible. El batido largo vuelve el mortero de cal plástico y trabado; el agua de más lo hace mermar y agrietarse.

Amasado a mano: la batidera, una azada con agujeros, mete la pasta en la arena.

Asentar y curar. Trabaje solo a 5 °C o más y con temperaturas en ascenso, sin heladas previstas en varias semanas. Moje las piedras para que no chupen el agua de las juntas. Asiente cada piedra sobre una cama de mortero y rellene bien las juntas. Mantenga la obra húmeda y a la sombra bajo una arpillera al menos una semana, pulverícela cuando se vea pálida y cúbrala con mantas aislantes si amenaza helada. No seque nunca una obra de cal con una estufa.

> **Seguridad.** La cal viva y la cal apagada son cáusticas: queman la piel y pueden dejar ciego. Use gafas estancas, guantes, manga larga, botas y mascarilla contra el polvo cuando trabaje con cal en polvo. Si entra cal en los ojos, lávelos enseguida con abundante agua limpia, con los párpados abiertos, durante al menos 15 minutos, y busque atención médica. Al apagarla el agua puede hervir y salpicar, y la cal viva en contacto con la humedad ha llegado a prender madera y paja: guárdela seca, cerrada y lejos de cualquier cosa que arda, y nunca le añada agua en un recipiente cerrado. No construya un horno sin permiso local y sin ayuda experta, manténgase lejos de lo alto mientras arde y no se suba nunca a un horno aún caliente ni entre en él. Mantenga alejados a los niños.

Historia y evolución

La cal cocida más antigua procede de cazadores-recolectores del Levante: en el Sinaí, hace unos 16 000 años, parece que sirvió para fijar pequeñas hojas de sílex a sus mangos. En Nahal Ein Gev II, junto al mar de Galilea, ocho personas fueron enterradas hace unos 12 000 años bajo una capa de enlucido de cal de unos 40 cm de grosor, señal de que ya se fabricaba cal en cantidad.

En las primeras aldeas de agricultores, desde hace unos 10 000 años, el enlucido de cal cubría suelos y paredes en muchos lugares, y un horno excavado en el suelo en Nesher-Ramla, en Israel, tiene unos 10 400 años. En Ain Ghazal, cerca de Amán, se modelaron 32 estatuas y bustos de cal sobre armazones de caña; las dataciones por radiocarbono calibradas los sitúan hacia el 7700-7500 a. C., mientras que publicaciones más antiguas dan unos 6700-6500 a. C. en años sin calibrar.

Una estatua de Ain Ghazal: cal modelada sobre haces de cañas atados con cordel.

Los autores romanos dejaron instrucciones prácticas. El horno de Catón medía 10 pies de ancho, 20 de alto y 3 en la boca superior. Vitruvio aconsejaba tres partes de arena de cantera por una de cal, o dos de arena de río o de mar.

Tras Roma, muchos morteros eran de pasta de cal y arena del lugar, más o menos uno a tres; otros se hacían en caliente, apagando la cal viva en arena húmeda, y las recetas variaban de una región a otra. La cal viva se apagaba en la obra hasta mediados del siglo XIX. El cemento Portland, patentado en Gran Bretaña en 1824, fue ocupando su lugar, y en la década de 1930 la mayoría de los albañiles estadounidenses ya lo mezclaban en su mortero. Los restauradores han vuelto a la cal para los edificios antiguos, porque un mortero de cemento duro y denso puede retener la humedad en la fábrica y acelerar el deterioro de la piedra.

Cifras clave

Temperatura de cocción
Unos 900 °C; la transformación empieza hacia los 700 °C

Peso perdido en el horno
44 % en una caliza pura; Vitruvio lo calculaba en un tercio

Mortero tradicional
1 volumen de pasta de cal por 3 de arena

Calor del apagado
La cal viva al reaccionar con la humedad ha llegado a 800 °C y ha prendido madera y paja

Enlucido de cal más antiguo en gran cantidad
Nahal Ein Gev II, Israel, hace unos 12 000 años

Fuentes

1. Lime plaster cover of the dead 12,000 years ago: new evidence for the origins of lime plaster technology (Friesem, Abadi, Shaham and Grosman, Evolutionary Human Sciences, 2019) · Cambridge University Press, via PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10427327/
2. A 10,400-year-old sunken lime kiln from the Early Pre-Pottery Neolithic B at the Nesher-Ramla quarry (el-Khirbe), Israel (Toffolo et al., 2017) · Journal of Archaeological Science: Reports, record at CENIEH https://investigacion.cenieh.es/documentos/65872833e6e23719147fb5c7?lang=fr
3. 'Ain Ghazal "Monumental" Figures: A Stylistic Analysis (Denise Schmandt-Besserat) · University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/ain-ghazal/ain-ghazal-monumental-figures-a-stylistic-analysis/
4. Lime Plaster Statue from Ain Ghazal · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/image/8522/lime-plaster-statue-from-ain-ghazal/
5. Cato, On Agriculture, chapters 1–52 (chapters 16 and 38: the lime kiln), translated by W. D. Hooper and H. B. Ash · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html
6. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II, chapters 4–5 (sand and lime), translated by Joseph Gwilt · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
7. Introduction to lime: lime and its production · Tŷ-Mawr Lime https://lime.org.uk/knowledge-base/introduction-to-lime-lime-and-its-production
8. Some dos and don'ts in the use of lime mortars · Building Limes Forum https://www.buildinglimesforum.org.uk/some-dos-and-donts-in-the-use-of-lime-mortars/
9. Technical Advice Guide: Introduction to Lime in Traditional Buildings · Scottish Lime Centre Trust https://scotlime.org/documents/15/Technical_Advice_Guide_Introduction_to_Lime_in_Traditional_Buildings_1.pdf
10. Preservation Brief 2: Repointing Mortar Joints in Historic Masonry Buildings (Mack and Speweik, 1998) · U.S. National Park Service https://www.nps.gov/orgs/1739/upload/preservation-brief-02-repointing.pdf
11. A case study in lime production no. 1: traditional batch techniques at Chenkumbi, Malawi · Practical Action https://kolibri.teacherinabox.org.au/modules/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100090_Lime_production_traditional_Chenkumbi_Malawi.pdf
12. Lime production: traditional batch techniques in Patarra, Costa Rica · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100089_Lime%20production%20-%20Traditional%20batch%20techniques%20in%20Patarra%20%20Costa%20Rica,%20case%20study/page2.html
13. Calcium oxide: chemical datasheet (with NIOSH Pocket Guide first aid) · CAMEO Chemicals, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/311

Datos verificados el 2026-10-13

Agua potable

Sacar, decantar, filtrar, hervir

h. 8400 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9), Cerámica (p. 23), Cuerda y cordaje (p. 13)

Conduce a: Higiene y antisepsia (p. 298), Rehidratación oral (p. 375)

1 Pozo revestido de piedra 2 Brocal, tapa y torno 3 Losa inclinada y canal 4 Tinaja de decantación
5 Lecho de arena fina con su capa biológica 6 Grava y tubo de salida 7 Olla en plena ebullición

El agua segura empieza por una fuente protegida, por ejemplo un pozo revestido y tapado, excavado cuesta arriba y lejos de letrinas y corrales. Cuando el agua es dudosa, la decantación, la filtración lenta en arena y la ebullición eliminan o matan la mayoría de los gérmenes de la diarrea, el cólera y la fiebre tifoidea, pero ninguno de estos métodos quita los productos químicos disueltos.

Qué es

El agua que enferma suele parecer limpia. El peligro está en bacterias, virus, protozoos y huevos de gusanos que proceden casi siempre de heces humanas o animales. El cólera, la fiebre tifoidea, la disentería y las diarreas que aún matan a niños pequeños se transmiten así.

El agua segura depende de una cadena de costumbres: una fuente bien cuidada, el agua dudosa aclarada por decantación o filtración lenta en arena y después hervida, y un almacenamiento cuidadoso, porque un vaso o una mano sucios bastan para volver a contaminarla.

Cómo funciona

La lluvia arrastra excrementos de campos y corrales hacia arroyos y charcas. El líquido de una fosa de letrina se filtra por el suelo hasta las aguas subterráneas poco profundas, más rápido a través de grava o de caliza fisurada que de arcilla.

El agua subterránea suele ser más limpia que la superficial, porque el suelo retiene partículas y microbios. Un pozo conserva esa ventaja si el revestimiento con mortero de su parte alta, el brocal, la tapa y la losa inclinada impiden que la escorrentía y el agua derramada entren en él.

Muchos gérmenes se adhieren a las partículas de limo y arcilla. Cuando el agua turbia reposa unas horas, las partículas se hunden y se llevan parte de esa carga. La decantación por sí sola no hace potable el agua.

Un filtro lento de arena es ante todo un sistema vivo. El agua baja a través de arena fina a unas décimas de metro por hora. En las primeras semanas se instala en los centímetros superiores una capa de bacterias, algas y organismos diminutos. Las partículas se quedan allí, los microbios de esa capa se alimentan de muchos de los patógenos retenidos y otros mueren antes de atravesarla. Aun así pasan algunas bacterias y muchos virus: el filtro mejora el agua, pero por sí solo no la vuelve segura.

La ebullición mata por calor. Según la OMS, llevar el agua a un hervor fuerte basta para inactivar las bacterias, los virus y los protozoos patógenos. El calor no hace nada contra los productos químicos.

Cómo hacerlo

Elegir y proteger la fuente. Es preferible un acuífero protegido o un manantial captado, después la lluvia de un tejado limpio y, solo en último lugar, ríos y charcas. Sitúe el pozo cuesta arriba de cualquier letrina, a 30 m como mínimo y más en grava o roca fisurada, y mantenga a los animales detrás de una cerca a unos 15 m, como sugiere la OMS. Lave la ropa y abreve el ganado cuesta abajo.

Excavar y revestir el pozo. Excave un pozo de al menos un metro de diámetro y revístalo de piedra o ladrillo a medida que baja. La OMS recomienda impermeabilizar como mínimo los 3 m superiores con juntas de mortero, mientras el revestimiento bajo el nivel del agua queda abierto para que entre el agua del acuífero. Levante un brocal, ponga una tapa y construya alrededor una losa impermeable de al menos 1 m de ancho, unida al brocal e inclinada hacia un canal que lleve el agua derramada cuesta abajo. Reserve una cuerda y un cubo para el pozo y no los deje nunca en el suelo. Un pozo nuevo o inundado debe desinfectarse y, si es posible, analizarse su agua; mientras tanto, hiérvala. Excavar o limpiar un pozo profundo es trabajo de poceros con experiencia, nunca de una persona sola.

Decantar y colar. Deje reposar el agua turbia unas horas en una tinaja tapada y vierta después la parte clara sin remover el poso. Cuélela luego por una tela de algodón limpia plegada en varias capas. En aldeas de Bangladés, un sari plegado en ocho capas redujo el cólera casi a la mitad.

Montar un filtro de arena. Estas cifras dan el principio; un diseño probado, como el filtro de bioarena de CAWST, precisa la granulometría de la arena y el caudal. Tome un recipiente estanco de unos 0,9 m de alto. Ponga grava en el fondo alrededor del extremo de un tubo de salida, encima arena más gruesa y luego al menos medio metro de arena fina lavada. Haga subir el tubo por fuera para que su extremo quede unos 5 cm por encima de la superficie de la arena; cuando deje de salir agua, compruebe que quedan unos 5 cm de agua sobre la arena. Una placa perforada o una piedra plana encima evita que el agua vertida excave la arena. Vierta el agua por tandas y deje reposar el filtro al menos una hora, y no más de dos días, entre una y otra. Cuando el caudal sea demasiado lento,

remueva con suavidad, con la palma de la mano, solo la capa más superficial de la arena, sin mezclarla más hondo, y retire el agua sucia.

Una tapa, una base elevada y un cazo mantienen las manos y la suciedad lejos del agua guardada.

Hervir y guardar. Hierva toda el agua de una fuente dudosa antes de beberla, aunque esté decantada y filtrada. Llévela a un hervor fuerte; los CDC aconsejan mantenerlo 1 minuto, o 3 minutos por encima de unos 2000 m. Déjela enfriar tapada y viértala en una tinaja limpia de cuello estrecho con tapa. Sírvala con un cazo limpio o vertiéndola, nunca metiendo un vaso o la mano.

Una tela plegada varias veces retiene el limo y el plancton al que se adhiere la bacteria del cólera.

> **Seguridad.** Hervir y filtrar actúan sobre los gérmenes, no sobre los productos químicos. Los nitratos del estiércol y de las letrinas, el arsénico, el flúor, el plomo, la sal, el combustible y los plaguicidas siguen en el agua, y la ebullición concentra los nitratos al evaporarse el agua. Si una fuente puede tener contaminación química, busque otra. La decantación y el filtro de arena no retienen todos los gérmenes: hierva también el agua. Mantenga toda letrina a 30 m como mínimo del pozo y cuesta abajo, con el fondo de la fosa al menos 1,5 m por encima del nivel freático en su punto más alto, en la estación de lluvias. El agua hirviendo escalda: coloque la olla bien estable y aleje a los niños. No baje a un pozo: en el fondo puede faltar oxígeno y las paredes pueden derrumbarse, y una cuerda no protege de ninguna de las dos cosas. Tape todos los pozos para que ningún niño ni animal pueda caer dentro.

Historia y evolución

Los pozos más antiguos fechados con seguridad están en Chipre: en Kissonerga-Mylouthkia, un pozo abierto en la caliza hacia 8400 a. C. alcanzaba el agua a 8 m.

El agua filtrada para el público nació de un filtro experimental que instaló una fábrica escocesa de blanqueo de tejidos en 1804. En 1829, James Simpson, ingeniero de la Chelsea Waterworks Company de Londres, puso en servicio un lecho filtrante de unas 0,4 hectáreas, de ladrillo, grava y arena, para el agua tomada del Támesis.

En 1849, John Snow sostuvo que el cólera viajaba en el agua contaminada por aguas residuales, mientras la mayoría de los médicos culpaba al aire viciado. Cuando la epidemia golpeó el Soho el 31 de agosto de 1854, relacionó las muertes con la bomba de Broad Street: de 73 muertes que investigó en las calles de alrededor, 61 eran de personas que bebían su agua. La parroquia hizo quitar la palanca el 8 de septiembre, cuando el brote ya remitía. Un clérigo del barrio, Henry Whitehead, encontró después el origen probable: un pozo negro delante del número 40, donde se había vaciado el agua de los pañales de un bebé enfermo. Snow comparó además dos compañías que abastecían las mismas calles: las casas que recibían agua captada aguas abajo de los vertidos de las cloacas de Londres tuvieron unas 315 muertes por cólera por cada 10 000 casas, frente a 37 con la compañía que captaba aguas arriba.

Broad Street, septiembre de 1854: sin su palanca, la bomba ya no se podía usar.

En 1908, Jersey City fue la primera ciudad estadounidense en clorar su agua de forma rutinaria; el cloro que queda en el agua la sigue protegiendo en las tuberías.

Cifras clave

Ebullición

Un hervor fuerte inactiva bacterias, virus y protozoos (OMS); los CDC aconsejan 1 minuto, 3 minutos por encima de unos 2000 m

Filtro de arena doméstico

En laboratorio, con capa biológica madura: 99,98 % de los protozoos y 90-99 % de las bacterias eliminados, los virus de forma menos fiable (CDC)

Pozo fechado más antiguo

Hacia 8400 a. C., Kissonerga-Mylouthkia (Chipre), 8 m de profundidad en caliza

Letrina y pozo

Al menos 30 m de distancia, fondo de la fosa al menos 1,5 m por encima del nivel freático (MSF)

Tela plegada

Un sari plegado en 8 capas retiene partículas de más de unos 20 µm; 48 % menos cólera en aldeas de Bangladés (2003)

Fuentes

1. Boil water (technical brief WHO/FWC/WSH/15.02) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-15.02
2. How to Make Water Safe in an Emergency · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/index.html
3. How to Create and Store an Emergency Water Supply · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/how-to-create-and-store-an-emergency-water-supply.html
4. Household Water Treatment: Slow Sand Filtration · Centers for Disease Control and Prevention https://stacks.cdc.gov/view/cdc/41390/cdc_41390_DS1.pdf
5. Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance (2009) · CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology) https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/Guides%26Manuals/CAWST%20files/Biosand%20Filter%20Manual_Version%2010_Sep%2009%5B1%5D.pdf
6. Technical Fact Sheet: Dug well with a hand pump (draft, 2020) · World Health Organization https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/sanitary-inspection-packages/2-tfs-dug-well-with-hand-pump-d-200506.pdf
7. Appendix 14. Excreta pit (stools and vomit) · Médecins Sans Frontières, Medical Guidelines https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
8. Introduction to Excreta Disposal, Drainage and Hand Washing Facilities · Red Cross Red Crescent, Southeast Asia https://www.rcrc-resilience-southeastasia.org/wp-content/uploads/2018/03/5-Introduction-to-Excreta-Disposal-Drainage-and-Hand.pdf
9. Private Water Supplies Technical Manual, 6.5 Filtration · Drinking Water Quality Regulator for Scotland https://dwqr.scot/media/jl0ddz3x/pws-technical-manual-section-6-water-treatment-processes-65-filtration-larger-scale.pdf
10. Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration (Colwell et al., 2003) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC298724
11. All About DWEE: Keeping Your Well Water Safe and Sound · Nebraska Department of Water, Energy, and Environment https://dwee.nebraska.gov/node/5495
12. Well · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Well
13. London's water supply and the introduction of sand filtration (Chelsea) · Institute of Water https://instituteofwater.org.uk/all/londons-water-supply-and-the-introduction-of-sand-filtration-chelsea/
14. John Snow: Cholera & the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
15. Dr John Snow and Reverend Whitehead · Cholera and the Thames (Westminster City Archives) https://www.choleraandthethames.co.uk/cholera-in-london/cholera-in-soho/
16. Snow & the pump handle · Cholera in St. James, Michigan State University https://johnsnow.matrix.msu.edu/broadstpump/snow-the-pump-handle/
17. Snow's "Grand Experiment" · Adhikari, DeNero and Wagner, Computational and Inferential Thinking https://inferentialthinking.com/chapters/02/2/snow-s-grand-experiment/index.html
18. History of Drinking Water Treatment · Centers for Disease Control and Prevention https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/healthywater/drinking/history.html
19. Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter (Elliott et al., 2008) · Water Research https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.01.016
20. Investigation of E. coli and virus reductions using replicate, bench-scale biosand filter columns and two filter media (Elliott et al., 2015) · International Journal of Environmental Research and Public Health https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4586611
21. Slow Sand Filtration (Huisman and Wood, 1974) · World Health Organization https://www.susana.org/knowledge-hub/resources?id=4263
22. Giardiasis (DPDx, laboratory identification of parasites) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/dpdx/giardiasis/index.html

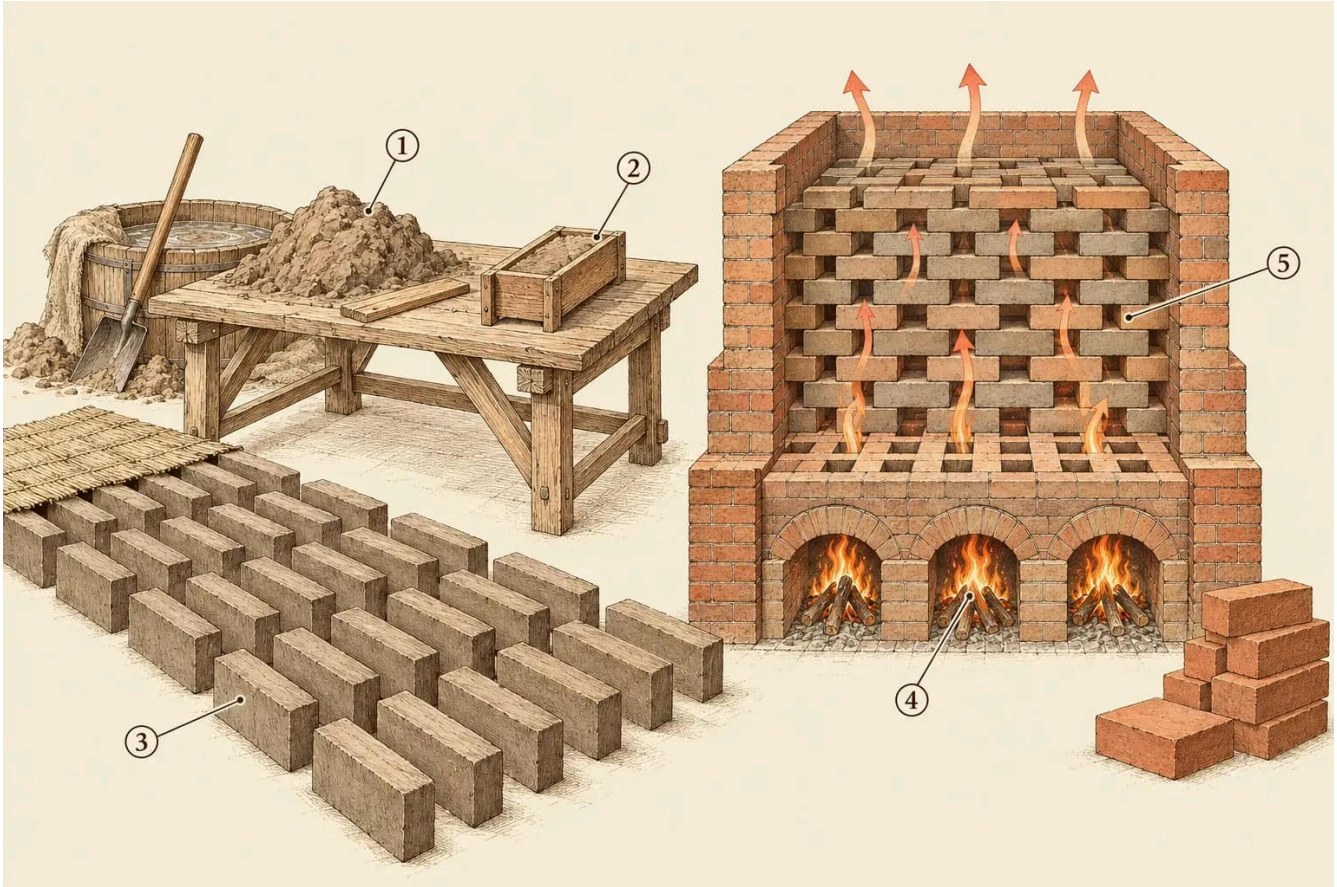
Datos verificados el 2026-10-13

Ladrillos

Bloques de tierra normalizados

h. 7500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Conduce a: Acueducto (p. 145), Arco y bóveda (p. 73), Hormigón romano (p. 165)



1 Barro preparado 2 Gradilla de madera 3 Ladrillos crudos secándose 4 Túnel de fuego 5 Ladrillos encañados en el horno

Un ladrillo es un bloque de arcilla con un tamaño fijado, secado al sol o cocido en un horno, para levantar muros con piezas iguales y fáciles de manejar. Los ladrillos de barro moldeados ya existían en Oriente Próximo antes del 7500 a. C.; el ladrillo cocido llegó milenios después y acabó sosteniendo ciudades, acueductos y chimeneas de fábrica.

Qué es

Un ladrillo es un pequeño bloque de tierra con forma y tamaño regulares. El adobe solo se seca al sol; el ladrillo cocido pasa por el horno hasta que la arcilla se convierte en una cerámica dura. Ambos se colocan por hiladas con mortero, y como todas las piezas tienen el mismo tamaño, el constructor puede calcular de antemano las cantidades y mantener las hiladas a nivel.

La lámina muestra el trabajo de un tejar artesanal anterior a las máquinas: el barro preparado junto a la mesa de moldear, los ladrillos crudos secándose en filas y un pequeño horno de tiro vertical visto en corte.

Cómo funciona

La arcilla está formada por diminutos granos minerales planos. Húmedos, resbalan unos sobre otros y la masa se puede moldear; al secarse, el agua que los separa se va, los granos se juntan y el bloque se endurece y merma. La arcilla pura merma tanto que se agrieta, por eso los ladrilleros le añaden arena, cerámica molida o paja picada. En la antigua Mesopotamia se usaba sobre todo paja o estiércol, y según un cálculo hacían falta unos 60 kg de paja por cada cien ladrillos.

Un adobe sigue siendo lo bastante blando como para volver a ser barro si se empapa, así que los muros de tierra necesitan un zócalo de piedra, un buen alero y un mantenimiento regular. La cocción transforma la propia arcilla. Sus minerales pierden primero el agua ligada en su estructura y, hacia los 900 a 1000 °C, sus granos empiezan a soldarse. El ladrillo cocido ya no se ablanda con el agua, y su color, casi siempre rojo, se debe al hierro de la arcilla.

Una gradilla sin fondo, enarenada por dentro, da a cada ladrillo el mismo tamaño.

En un horno de tiro vertical como el del dibujo, el fuego arde en túneles en la base. Los gases calientes suben por una parrilla calada y por los huecos que quedan entre los ladrillos crudos, colocados en celosía, y salen por arriba. La cocción debe empezar despacio: el agua que aún queda en la arcilla se convierte en vapor, y un ladrillo calentado demasiado deprisa puede agrietarse o estallar.

Cómo hacerlos

Para hacer adobes basta con tierra adecuada, agua, paja, una gradilla y unas semanas secas.

Probar la tierra. Excave por debajo de la capa vegetal, llena de raíces y humus. Haga unos cuantos adobes de prueba: si se agrietan al secarse, la tierra tiene demasiada arcilla y necesita arena; si se desmoronan por las esquinas, le falta arcilla.

Mezclar y amasar. Desmenuce la tierra, mójela y písela con paja picada hasta obtener una pasta firme y sin grumos. Un cubo de paja suelta por cada cinco de tierra es un primer ensayo razonable; corríjalo según los adobes de prueba, porque algunas tierras buenas necesitan poca paja o ninguna. Deje reposar la mezcla un día tapada para que el agua se reparta.

Hacer la gradilla. Una cuatro tablas en un marco sin fondo, por ejemplo de 30 × 15 × 10 cm por dentro, con asas en los extremos. Mójela y espolvoréela con arena para que el barro se suelte.

Moldear. Ponga la gradilla sobre un suelo llano y enarenado, lance dentro una pella de barro con fuerza para que llene las esquinas, enrase la parte superior con un listón mojado y levante la gradilla bien recta. Coloque el siguiente adobe a un dedo de distancia.

Secar. Proteja los adobes del sol fuerte y de la lluvia los primeros días y después póngalos de canto para que el aire llegue a todas las caras. Según el tiempo, necesitan de una a cuatro semanas antes de poder apilarse; parta un adobe de prueba para comprobar que no queda un núcleo más oscuro y húmedo. Si quiere ladrillos cocidos, lleve unas cuantas muestras pequeñas y bien secas a un taller de cerámica para que las cuezan en su horno.

> **Seguridad.** Un adobe fresco pesa varios kilos: levántelo con las rodillas flexionadas y haga pilas bajas y estables. El polvo de arcilla seca contiene sílice fina: humedezca la tierra antes de desmenuzarla, limpie con agua en lugar de barrer y use una mascarilla FFP2 o FFP3 bien ajustada cuando no pueda evitar el polvo. Valle o rellene cualquier hoyo que excave, porque en él se acumula agua. La cocción en horno supone mucho calor y humos; déjela en manos de alguien formado y no cueza nunca ladrillos todavía húmedos.

Historia y evolución

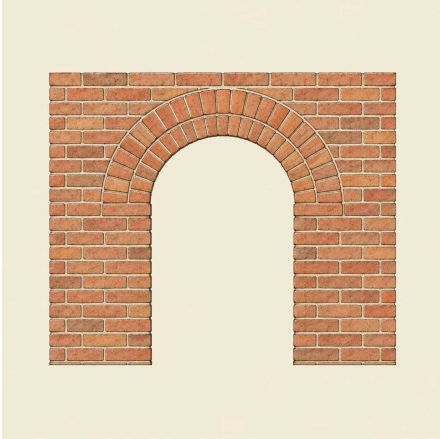
En Oriente Próximo ya se levantaban muros de tierra secada al sol en el IX milenio a. C., y entre los ladrillos moldeados más antiguos están los de Tell Aswad, en Siria, anteriores al 7500 a. C. En Nemrik, en el norte de Irak, hay muros del VIII milenio hechos con largos ladrillos en forma de cigarro, de unos 51 cm. Los ladrillos de Jericó, de los milenios VIII y VII a. C., se modelaban a mano y llevaban hileras de huellas de pulgar que ayudaban a agarrar el mortero.

Ladrillo modelado a mano en Jericó: las huellas de pulgar daban agarre al mortero.

Los ladrillos hechos en moldes rectangulares de madera se extienden por Mesopotamia en el VI milenio a. C. El ladrillo cocido llega después y al principio se reserva para usos especiales, porque el combustible escasea: en Mesopotamia aparece en el periodo de Uruk, en el IV milenio a. C., aunque algunos autores fechan los primeros antes, y en China se fabrica en Chengtoushan hacia el 4400 a. C. Un texto sumerio de hacia el 2100 a. C. describe a Gudea, soberano de Lagash, echando el barro en el molde y sacando el primer ladrillo de un nuevo templo. Las ciudades del valle del Indo construyen desde el III milenio a. C. con ladrillos cocidos de tamaño regular; muchos se acercan a la proporción 1:2:4 entre grueso, ancho y largo, aunque los excavadores registraron varios formatos.

Roma produce ladrillos normalizados en grandes cantidades desde el siglo I d. C., y tras una larga pausa el norte de Europa vuelve al ladrillo en la Edad Media, allí donde falta buena piedra de construcción.

La fabricación industrial empieza en el siglo XIX con máquinas que prensan la arcilla en moldes. En 1858 Friedrich Hoffmann patenta un horno anular que nunca tiene que enfriarse: el fuego pasa de una cámara a la siguiente, mientras los gases calientes secan y precalientan los ladrillos que esperan delante. En el horno de Palmerston North, en Nueva Zelanda, el fuego tardaba unas seis semanas en recorrer sus catorce cámaras. El ladrillo británico métrico normalizado mide 215 × 102,5 × 65 mm.



En un arco, cada ladrillo va a sardinel con su junta dirigida al centro, y la carga pasa de uno a otro.

Cifras clave

Entre los ladrillos de barro moldeados más antiguos
Tell Aswad, Siria, antes del 7500 a. C.

Temperatura de cocción
Unos 900 a 1000 °C para el ladrillo común

Ladrillo británico métrico normalizado
215 × 102,5 × 65 mm

Horno continuo
Patentado por Friedrich Hoffmann en 1858

Fuentes

1. The Appearance of Bricks in Ancient Mesopotamia (Hnaihen, Athens Journal of History 6/1, 2020) · Athens Institute for Education and Research https://www.athensjournals.gr/history/2020-6-1-4-Hnaihen.pdf
2. Thumb-pressed brick, Tell al-Sultan (Jericho) · Queen's University Library, Museum of Near Eastern Archaeology https://virtual-exhibits.library.queensu.ca/museum-of-near-eastern-archaeology/thumb-pressed-brick/
3. Hoffman Oblong Continuous Kiln, Palmerston North · Heritage New Zealand Pouhere Taonga https://www.heritage.org.nz/list-details/194/Listing
4. Brick · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Brick
5. Technical Note 9: Manufacturing of Brick · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/9-manufacturing-of-brick.pdf
6. ABCs of Making Adobe Bricks (Guide G-521) · New Mexico State University, Cooperative Extension Service https://pubs.nmsu.edu/_g/G521/
7. Shrinkage rates · Valentine Clays https://valentineclays.co.uk/pages/shrinkage-rates
8. Drying shrinkage · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/drying+shrinkage
9. Hands-on archaeology: how to make adobe bricks · Archaeology Southwest https://www.archaeologysouthwest.org/2018/11/04/hands-on-archaeology-how-to-make-adobe-bricks/
10. Stamford bricks: the hand-made process (Talking about technology) · Bournemouth University https://histru.bournemouth.ac.uk/Oral_History/Talking_About_Technology/building%20conservation%20technology/stamford_bricks_hand_made_process.htm
11. Material behaviour of unstabilised earth block masonry and its components under compression at varying relative humidity (Wiehle and Brinkmann, Case Studies in Construction Materials 17, 2022) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01663

Datos verificados el 2026-10-12

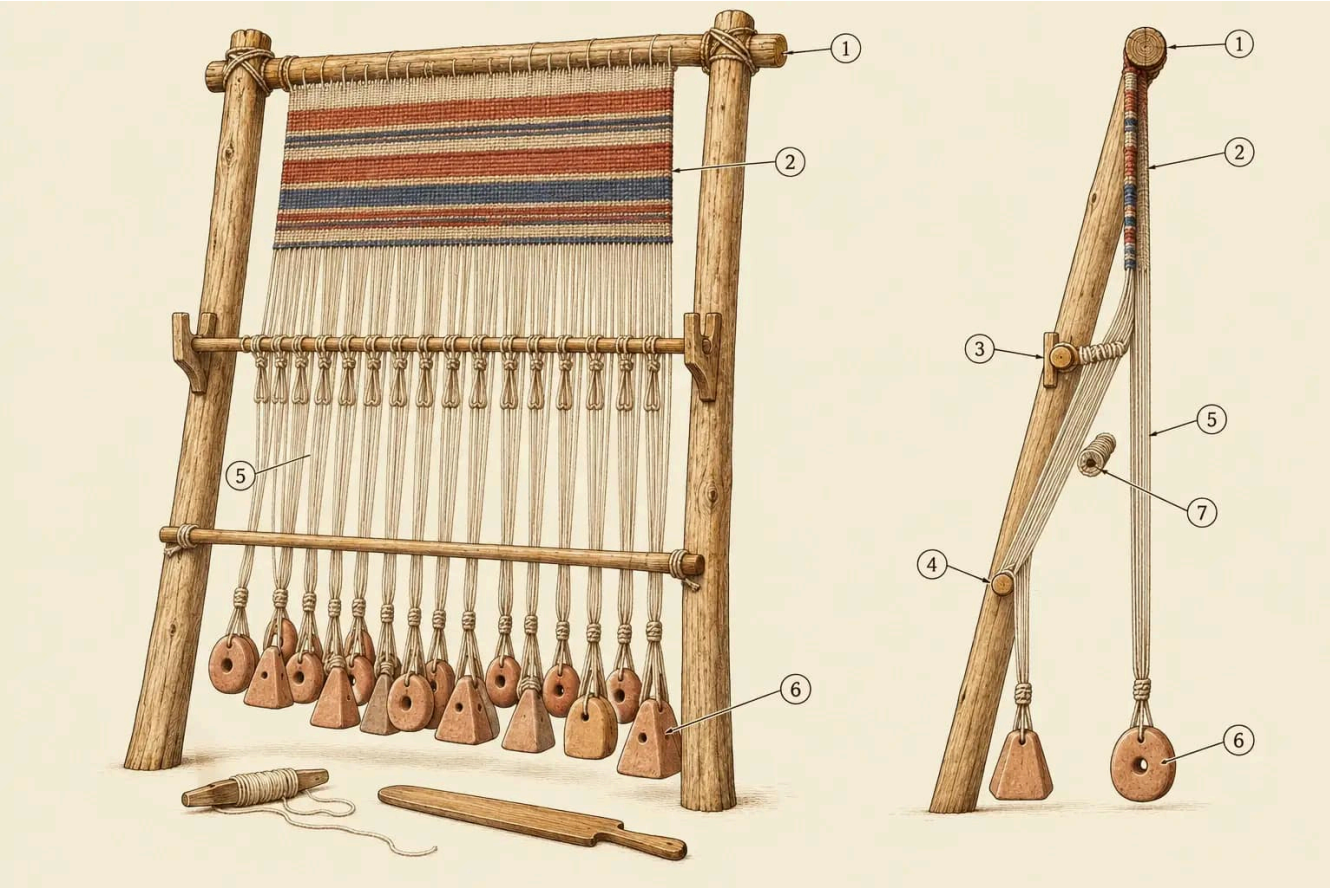
Tejido en telar

Hilos cruzados que forman la tela

h. 6700 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cuerda y cordaje (p. 13)

Conduce a: Globo aerostático (p. 230), Vela (p. 89), Máquina de coser (p. 269)



1 Enjulio superior 2 Tela tejida 3 Vara de lizos 4 Vara de calada 5 Urdimbre 6 Pesas de telar 7 Trama en la calada abierta

Tejer es fabricar tela haciendo pasar un hilo, la trama, por encima y por debajo de un conjunto de hilos tensos, la urdimbre, pasada tras pasada. El telar mantiene tensa la urdimbre y la abre para que la trama la cruce de una vez; el telar de pesas que aquí se dibuja se remonta al Neolítico y duró en el norte de Europa hasta la Edad Media; aún sobrevive en algunos lugares.

Qué es

Tejer es fabricar tela con dos series de hilos que se cruzan en ángulo recto. La urdimbre va tensada a lo largo sobre un bastidor, el telar. La trama la atraviesa. En el ligamento más sencillo, el tafetán, pasa por encima de un hilo y por debajo del siguiente, y cada pasada nueva hace lo contrario. El rozamiento mantiene unidos los cruces, de modo que la tela no necesita cola ni nudos y sigue siendo flexible.

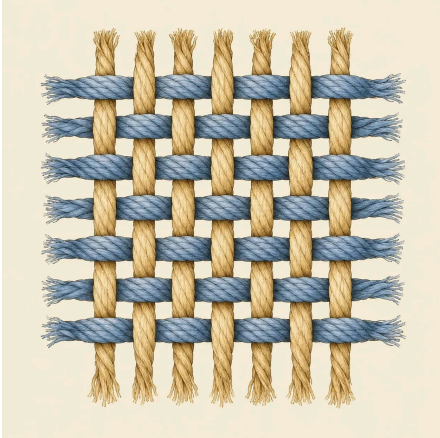
Mucho antes de tejer ya se retorcían cuerdas y se trenzaban esteras. El telar mantiene cientos de hilos con la misma tensión y levanta todo un grupo de golpe, así que la trama recorre todo el ancho en un solo movimiento en vez de pasarse a mano por encima y por debajo de cada hilo.

La lámina muestra un telar de pesas, usado en Oriente Próximo y en Europa desde el Neolítico, y en el norte de Europa hasta la Edad Media: dos postes se apoyan en una pared, la urdimbre cuelga de un madero colocado en lo alto y unas pesas de barro la mantienen tensa.

Cómo funciona

La trama pasa por una abertura en la urdimbre, la calada, que en este telar forman dos varas. La vara de calada (4) está fija en la parte baja, de un poste a otro. Un hilo de urdimbre de cada dos pasa por delante y el resto por detrás. Como los postes están inclinados, los hilos delanteros se apoyan en la vara y salen hacia fuera, mientras los traseros caen a plomo, y entre las dos capas se abre sola una separación: la calada natural.

La vara de lizos (3) está más arriba, delante de la urdimbre. Un lazo de cordel, el lizo, la une a cada hilo trasero. Cuando la tejedora tira de la vara hacia sí y la apoya en unos soportes ahorquillados de los postes, los hilos traseros pasan por delante de los otros y se forma una segunda abertura, la contracalada. Pasar la trama (7) por la calada y luego por la contracalada da el tafetán. Otras varas de lizos, atadas a otros grupos de hilos, permiten la sarga y los dibujos.



Tafetán: en cada pasada, la trama invierte su recorrido por encima y por debajo de la urdimbre.

Se teje de arriba abajo. La tejedora coloca cada pasada en un arco flojo, para no estrechar los orillos, y la aprieta hacia arriba contra la tela con los dedos, un peine o una espada de madera plana. La tela terminada (2) puede enrollarse en el enjulio superior (1), de modo que el telar da piezas más largas que su propia altura.

Cada pesa (6) sostiene un haz de hilos de urdimbre (5). En ensayos del Centre for Textile Research de Copenhague, el hilo de lana hilado con una fusayola de 4 g necesitó unos 13 g de tensión por hilo, y otro más grueso, de una fusayola de 8 g, unos 19 g. Las pesas deben colgar una junto a otra y a la misma altura; si no, se enredan y desgastan los hilos.

Cómo construirlo

Lo más laborioso es el hilo: con seis hilos de urdimbre y diez pasadas por centímetro, un metro cuadrado de tela gasta al menos 1,6 km, más las mermas y lo que consumen los hilos al ondular por encima y por debajo unos de otros.

Hilar. Un huso es un palo de unos 25 cm con un disco lastrado, la fusayola, cerca de un extremo. Se hace girar, se deja que la torsión suba por las fibras que se estiran de un copo de lana o de lino, y se enrolla el hilo cuando el huso se acerca al suelo. El hilo de urdimbre debe ser resistente, porque soporta las pesas.

Montar el bastidor. Hacen falta dos postes rectos de unos 2 m, un madero redondo que encaje en muescas en su parte alta, una vara de calada, una vara de lizos y dos soportes ahorquillados. Se taladran unos agujeros alrededor de un extremo del enjulio: una clavija metida en uno de ellos y atada a un poste impide que gire, y se saca para enrollar la tela. Se apoyan los postes en una pared firme, algo inclinados, se calzan los pies y se atan por arriba a la pared o a una viga, para que el telar no se venga hacia delante al tirar de la vara de lizos. La vara de calada y los soportes se amarran con firmeza a los postes.

Hacer las pesas. Se modelan anillos o pirámides de barro con un agujero, se dejan secar del todo, hasta que no estén frías al tacto, y las cuece en horno u hoguera alguien con experiencia; las piedras con un agujero natural evitan la cocción. Conviene que pesen lo mismo; lo habitual es que cada una tenga unos cientos de gramos. El hilo

decide cuántos hilos lleva cada pesa: a unos 15 g por hilo, una pesa de 300 g sostiene unos veinte. Cada fila de pesas debe tener más o menos el ancho de la urdimbre.

Urdir. En un pequeño telar de cintas o con tablillas se teje una cinta estrecha tan larga como ancha vaya a ser la tela, sacando la trama por un lado en bucles tan largos como la urdimbre que se necesita: esos bucles serán la urdimbre. Se cose la cinta al enjulio y se dejan caer los hilos. Se pasa un hilo de cada dos por detrás de la vara de calada. Los hilos delanteros y los traseros se atan a pesas distintas, en haces iguales, y las pesas de cada fila se cuelgan una junto a otra, a la misma altura. Después se anuda un lizo entre la vara de lizos y cada hilo trasero. Para una pieza más larga que el telar, se enrolla urdimbre de reserva en un pequeño ovillo sobre cada pesa y se suelta un poco cada vez que se enrolla la tela.

Tejer. Se pasa la trama por la calada natural, justo debajo del borde de la tela, y se aprieta. Se lleva la vara de lizos a sus soportes, se pasa la trama de vuelta, se aprieta de nuevo y se devuelve la vara a su sitio. Para acabar, se teje una cinta de cierre o se anudan los cabos de urdimbre en flecos.

> **Seguridad.** Cargado, el telar pesa mucho arriba: átelo a una pared sólida, calce los pies y mantenga alejados a los niños. Una pesa que cae puede romper un dedo del pie, así que lleve calzado cerrado. El barro húmedo puede estallar en el fuego: cueza solo pesas bien secas, al aire libre o en un horno ventilado, y manténgase lejos.

Historia y evolución

La tela rara vez se conserva, sus herramientas sí: pesas de telar y fusayolas abundan en los yacimientos antiguos.

Tejer quizá sea más antiguo que la agricultura. En Pavlov y Dolní Věstonice, en Moravia, unos fragmentos de barro cocido de hace más de 26 000 años conservan unas ochenta improntas que Olga Soffer y James Adovasio interpretan como cordeles, tejidos de torzal y tafetanes de fibras vegetales. Son improntas, no telas, y no se sabe si se hicieron con telar.

La tela tejida más antigua conservada en Oriente Próximo y Europa procede de Çatalhöyük, en Anatolia, de hacia 6700-6500 a. C. Es un tafetán que se ha conservado porque se carbonizó. Durante mucho tiempo se tomó por lino; en 2021 el microscopio reveló líber de roble, la corteza interior del árbol, en varias muestras, mientras otras estaban demasiado carbonizadas para saberlo. De esta tela sale la fecha que este catálogo da al tejido: las improntas de Moravia son más antiguas, pero inciertas.

Las pesas de barro, que sobreviven a la madera, muestran cómo el telar de pesas se extendió por la Europa neolítica. En América se tejía en el telar de cintura, tendido entre un árbol o un poste y una correa que rodea la cintura de quien teje. El telar vertical de dos enjulios, representado en tumbas egipcias, llegó probablemente a Europa desde Egipto.

Desde el siglo XI o XII, aproximadamente, el telar horizontal de pedales, que abre la calada con los pies, fue sustituyendo al de pesas en Europa, y más tarde en los países nórdicos. El telar de pesas sigue en uso en Fitjar, en el oeste de Noruega, y en Manndalen, en el norte, donde tejedoras sami lo recuperaron después de 1945 para hacer pesadas mantas de lana.

En el telar de cintura, quien teje se echa atrás para tensar la urdimbre y adelante para aflojarla.

Cifras clave

Improntas textiles más antiguas
Pavlov y Dolní Věstonice (Moravia), hace más de 26 000 años

Tela tejida conservada más antigua
Çatalhöyük (Anatolia), hacia 6700-6500 a. C., en tafetán

Tensión de la urdimbre
Unos 13-19 g por hilo de lana en ensayos del Centre for Textile Research de Copenhague

Pesas de telar
De 245 a 870 g en un juego de siete hallado en Voss (Noruega)

Todavía en uso
Telares de pesas en Fitjar y Manndalen (Noruega)

Fuentes

1. Experimental Archaeology, Part 3: Loom weights (technical report, 2007) · Centre for Textile Research, University of Copenhagen https://ctr.hum.ku.dk/research-programmes-and-projects/previous-programmes-and-projects/tools/technical_report_3__experimental_archaeology.pdf
2. Oppstadvev · Store norske leksikon https://snl.no/oppstadvev
3. Çatalhöyük – The oldest textiles at the TRC · Textile Research Centre, Leiden https://www.trc-leiden.nl/trc/index.php/en/blog/1794-catalhoeyuek-the-oldest-textile-at-the-trc
4. Upper Palaeolithic fibre technology: interlaced woven finds from Pavlov I, Czech Republic, c. 26,000 years ago · Antiquity (Adovasio, Soffer and Klíma, 1996) https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/upper-palaeolithic-fibre-technology-interlaced-woven-finds-from-pavlov-i-czech-republic-c-26000-years-ago/CD78BC4A39E2DD6958ACA29BA1BA30DA
5. Ice Age clothing said to be more advanced than previously thought · ScienceDaily / University of Illinois https://www.sciencedaily.com/releases/2000/02/000203074853.htm
6. Backstrap looms · Sam Noble Museum, University of Oklahoma https://samnoblemuseum.ou.edu/collections-and-research/ethnology/mayan-textiles/weaving-technology/backstrap-looms
7. Understanding the Archaeological Record: Reconstructing a Warp-Weighted Loom · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10351

Datos verificados el 2026-10-13

Salazón

Extraer el agua para frenar la putrefacción

h. 6050 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cerámica (p. 23)

1 Sal marina gruesa 2 Perniles enterrados en sal seca 3 Arenques en capas de sal y salmuera 4 Jamones curándose colgados 5 Bacalao salado secándose en un bastidor

La salazón conserva la carne, el pescado y las verduras quitándoles agua a ellos y a los microbios que los estropearían. En Europa oriental ya se hervía salmuera para sacar sal en el VI milenio a. C., y el cerdo salado, el arenque y el bacalao alimentaron a ejércitos, marineros y ciudades hasta la llegada de la refrigeración.

Qué es

La salazón, o curado, es una de las formas más antiguas de conservar alimentos. La carne o el pescado se frotan con sal seca o se sumergen en salmuera hasta que les queda tan poca agua libre que las bacterias de la putrefacción no pueden crecer. A menudo el alimento se seca después, se ahúma o se deja madurar. Las verduras, en cambio, pueden salarse un poco para que bacterias lácticas útiles las fermenten y las agrien, como en el chucrut.

La lámina reúne los métodos de una despensa europea anterior a la refrigeración: sal gruesa, perniles enterrados en un saladero, arenques en un barril, jamones colgados a secar y bacalaos abiertos secándose en un bastidor.

Cómo funciona

Todo microbio necesita agua disponible. Los técnicos de alimentos la miden con la actividad de agua, que vale 1,0 para el agua pura y baja cuando la sal o el azúcar retienen agua. El límite cambia de un microbio a otro, y algunas bacterias de intoxicaciones alimentarias crecen todavía con valores bastante bajos, pero la gran mayoría de los microbios deja de multiplicarse por debajo de 0,90 aproximadamente. Una salmuera saturada ronda 0,75.

Cuando la sal toca la carne o el pescado, el agua del tejido sale hacia la solución salina más concentrada, mientras la sal entra poco a poco. Las bacterias de la superficie pierden agua del mismo modo: su contenido se encoge separándose de la pared y dejan de crecer o mueren. Cuanto más penetra la sal y más agua sale, más dura el alimento. Un bacalao o un jamón muy salados duran meses o años, pero hay que desalarlos en agua dulce, en la nevera, antes de cocinarlos.

La sal gema cristaliza en cubos; un cristal que crece más deprisa por las aristas que por las caras se convierte en una «tolva» escalonada.

La sal no esteriliza. Algunas bacterias peligrosas la toleran bien, entre ellas Staphylococcus aureus, y Clostridium botulinum, que crece sin aire, sobrevive en forma de esporas en carnes y pescados mal curados. Por eso la mayoría de las sales de curado modernas para carne llevan nitrito, que frena el botulismo y mantiene la carne rosada. Las recetas antiguas usaban salitre, que las bacterias de la salmuera transforman en nitrito.

La salazón ligera funciona de otra manera. Con un 2 a 2,5 % de sal, la col conserva agua suficiente para las bacterias lácticas, que toleran la sal mejor que la mayoría de los microbios de la putrefacción. Estas convierten sus azúcares en ácido láctico, y es la acidez la que conserva.

Cómo hacerla

Curar carne en casa con seguridad exige una receta probada, sal de curado pesada y un cuarto fresco y controlado. Lo más seguro para empezar es la sal con col: el chucrut.

Preparar la col. Elija cabezas firmes y frescas, quite las hojas exteriores y el tronco y córtela en tiras finas de unos 5 mm. Pésela.

Salar. Por cada 2,25 kg de col, mezcle 3 cucharadas de sal para conservas (sin yodo ni antiaglomerantes), un 2 a 2,5 % del peso. Apriétela con fuerza en una vasija de barro o un tarro grande limpio, puñado a puñado, hasta que la sal haga salir el jugo.

Cubrir y prensar. La col debe quedar siempre bajo su propia salmuera. Si el jugo no la cubre, añada enseguida una salmuera de 1½ cucharadas de sal por cada 950 ml de agua hervida y fría. Ponga encima un plato con un peso, por ejemplo una bolsa cerrada llena de salmuera, y tápelo con un paño.

Dejar fermentar. Entre 21 y 24 °C la col tarda unas tres o cuatro semanas; entre 15 y 18 °C, cinco o seis. Por debajo de 15 °C puede no fermentar, y por encima de 24 °C puede ablandarse. En la superficie puede formarse una fina película blanca: retírela. El chucrut está listo cuando ha pasado el tiempo previsto, ha dejado de burbujear y la col sabe claramente ácida en toda la masa. Después se conserva meses en la nevera.

> **Seguridad.** Mantenga siempre la verdura bajo la salmuera y use utensilios limpios. Tire toda la tanda si aparece moho velloso o de color en cualquier parte, o si el chucrut se vuelve viscoso, rosado u oscuro, o huele a podrido. No improvise salazones de carne o pescado: el botulismo es raro pero mortal, y la sal nitrificada es tóxica en exceso. Use solo el producto, la dosis y la precisión de pesada que indique una receta probada, etiquételo y guárdelo fuera del alcance de los niños. Las salazones llevan mucha sal: quien deba limitarla tiene que desalarlas bien o evitarlas.

Historia y evolución

El briquetage: se hervía la salmuera en toscas artesas de barro sobre el fuego y luego se rompían para sacar los panes de sal.

La sal se fabricaba mucho antes de la escritura. En Poiana Slatinei, cerca de Lunca, en el nordeste de Rumanía, un manantial salado unas seis veces más concentrado que el agua de mar está rodeado de un montículo de ceniza y tierra quemada de unos tres metros de altura, dejado por gente que hervía la salmuera al fuego desde hacia el 6050 a. C. Los excavadores no saben si esa sal servía para conservar alimentos, para el ganado o para el intercambio, así que la fecha marca la producción de sal más antigua conocida, no el primer alimento salado.

Más tarde, en la prehistoria europea, se hervía la salmuera en vasijas de barro tosco apoyadas sobre soportes de barro encima del fuego, un método llamado briquetage. Las vasijas se rompían para liberar los panes de sal, y montones de sus fragmentos señalan todavía los yacimientos. En Hallstatt, en Austria, se extraía sal gema bajo tierra desde la Edad del Bronce, y en los siglos XIII y XII a. C. se salaba allí carne de cerdo a gran escala en cubas de madera enterradas, de las que hoy se conocen ocho.

Los griegos salaban pescado, el tarichos, y los romanos llamaban salsamentum a la carne y el pescado salados; en el siglo II a. C., la Galia enviaba a Roma grandes cantidades de cerdo salado. En la Europa católica, el pescado salado, y sobre todo el bacalao seco, se convirtió en la comida corriente de los viernes y la Cuaresma, cuando la carne estaba prohibida.

El bacalao de Terranova ya se salaba para los mercados europeos en el siglo XVI, y en el XVII la sal barata del sur de Europa hizo rentable la salazón para las naciones pesqueras del norte; el bacalao salado se convirtió en uno de los lados del comercio triangular atlántico. Las conservas, desde principios del siglo XIX, y la refrigeración en el XX tomaron el relevo, pero el jamón, el tocino y el pescado salado se siguen conservando con sal, y el chucrut sigue fermentando en su propia salmuera.

El bacalao salado, descabezado, abierto y seco, dura años y hay que remojarlo en la nevera un día o más antes de cocinarlo.

Cifras clave

Producción de sal más antigua conocida

Poiana Slatinei, Lunca (Rumanía), hacia 6050 a 5500 a. C.

Actividad de agua de una salmuera saturada

Cerca de 0,75 (agua pura: 1,0)

Umbral por debajo del cual la mayoría de los microbios deja de multiplicarse

Actividad de agua inferior a 0,90 aproximadamente

Salazón de la Edad del Bronce en Hallstatt

Cubas de madera de los siglos XIII y XII a. C., sobre todo para cerdo

Fuentes

1. The earliest salt production in the world: an early Neolithic exploitation in Poiana Slatinei-Lunca, Romania (Weller and Dumitroaia, 2005) · Antiquity https://www.antiquity.ac.uk/projgall/weller306/
2. Bronze Age meat curing vats · Naturhistorisches Museum Wien https://www.nhm.at/hallstatt/en/trading_hub/meat_processing_industry/meat_curing_vats
3. Is there a common water-activity limit for the three domains of life? (Stevenson et al., ISME Journal, 2015) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4438321/
4. Sauerkraut · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/ferment/recipes/sauerkraut/
5. Curing (food preservation) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Curing_(food_preservation)
6. Dried and salted cod · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Dried_and_salted_cod
7. One-directional modelling to assess the mechanistic actions of power ultrasound on NaCl diffusion in pork (McDonnell et al., Ultrasonics Sonochemistry 40, 2018) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.06.025
8. The physics behind ham production (Parnovsky and Varlamov, 2026) · arXiv https://arxiv.org/abs/2607.18173
9. Interactive comment on Rose et al.: water activity of aqueous NaCl after Archer's evaluation (Clegg, 2007) · Atmospheric Chemistry and Physics Discussions https://acp.copernicus.org/preprints/7/S4180/2007/acpd-7-S4180-2007.pdf
10. Water Activity of Foods (MF3674) · K-State Research and Extension https://bookstore.ksre.ksu.edu/download/water-activity-of-foods_MF3674
11. Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food, Appendix 3: Bacterial Pathogen Growth and Inactivation (Table 3-A) · US Food and Drug Administration https://www.fda.gov/media/99598/download

Datos verificados el 2026-10-12

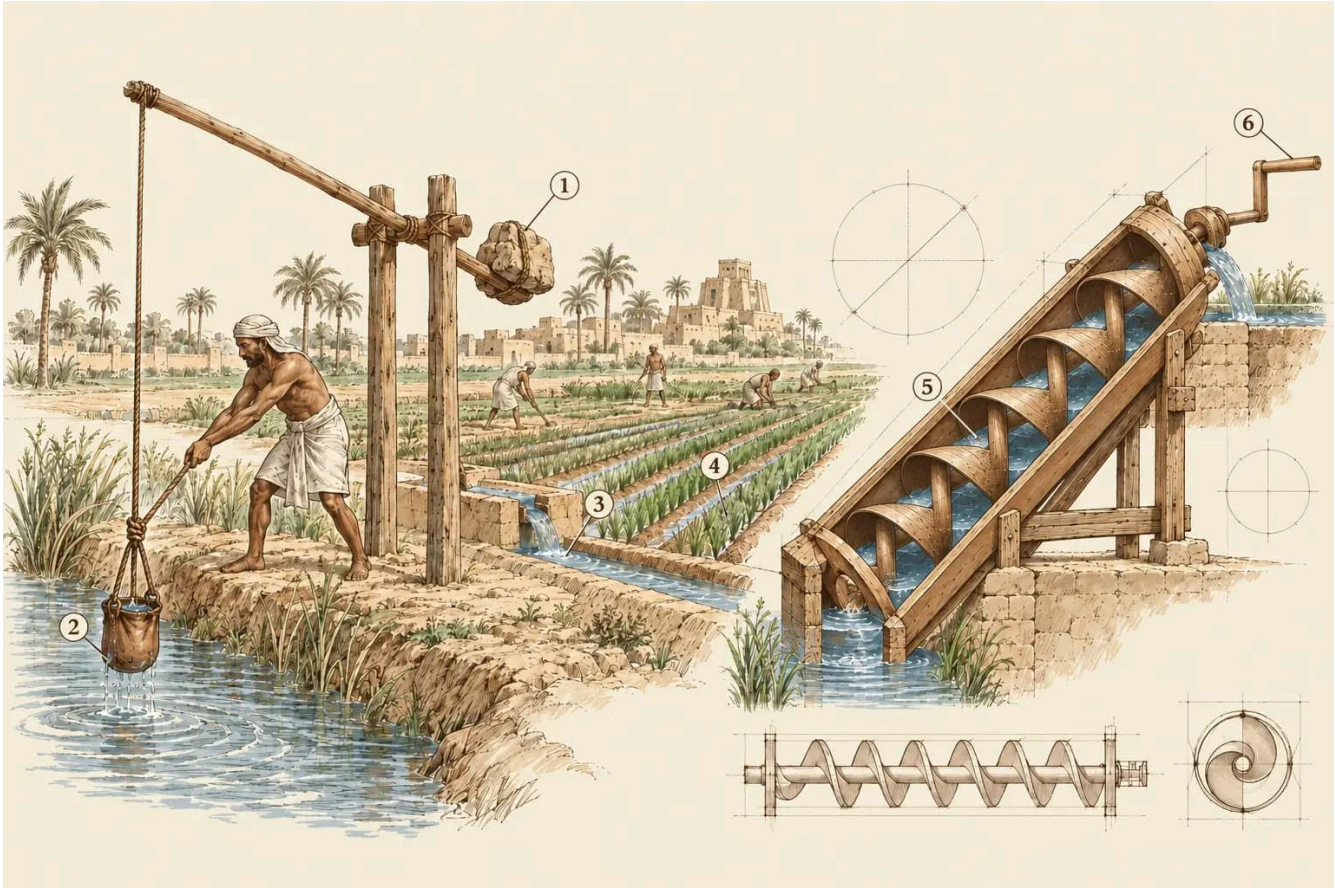
Riego

Llevar el agua a los cultivos

h. 6000 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5), Cuerda y cordaje (p. 13)

Conduce a: Acueducto (p. 145)



1 Contrapeso del cigoñal 2 Cubo de cuero 3 Canal de alimentación 4 Surcos entre las hileras 5 Hélice del tornillo 6 Manivela

El riego lleva a los cultivos el agua que la lluvia no basta para darles, ya sea dejándola correr por canales de pendiente suave o subiéndola desde un río o un pozo. Los canales más antiguos que se conocen se excavaron hace unos ocho mil años en las llanuras secas de Mesopotamia, donde también se vio muy pronto que un campo regado sin drenaje puede acabar cargándose de sal.

Qué es

Regar es dar agua a los cultivos cuando la necesitan, sin esperar a la lluvia. En el sur de Irak o en el valle egipcio del Nilo no hay agricultura sin riego; en otros lugares aumenta las cosechas y permite una segunda siembra en la estación seca.

Si la fuente está más alta que el campo, la pendiente hace el trabajo: un canal sale del río aguas arriba y baja suavemente hasta las tierras. Si el agua está más baja, entre orillas altas o en el fondo de un pozo, alguien tiene que subirla. La lámina muestra un cigoñal (el *shaduf* egipcio) que alimenta un canal y sus surcos, y un tornillo de Arquímedes.

Cómo funciona

En un cauce demasiado llano, el agua se frena, deposita su limo y deja crecer los juncos; en uno demasiado empinado, socava el fondo y rompe los bordes. Un pequeño canal de tierra suele perder poco más de un metro por kilómetro, y la FAO recomienda para los surcos una pendiente de entre el 0,05 y el 0,5 %. Por eso los canales siguen las curvas de nivel y pierden altura despacio.

En la parcela, el agua inunda una tabla llana cerrada por pequeños caballones de tierra y se infiltra, o corre por surcos entre las hileras y empapa los lomos por los lados.

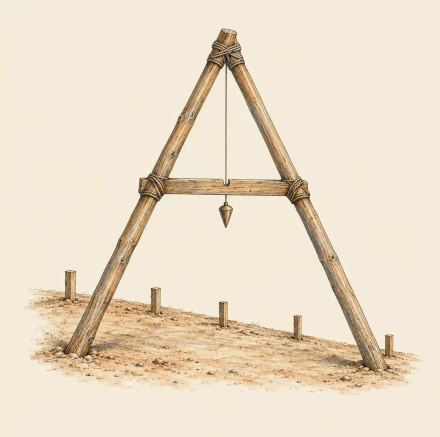
Subir un metro cúbico de agua un metro exige al menos 9,8 kilojulios, a los que se suma el rozamiento; una máquina solo hace más fácil aportar ese trabajo. El cigoñal es una palanca con un cubo en el brazo largo y una piedra o un terrón de barro seco en el corto. El campesino baja el cubo vacío hasta el agua, lo que levanta el peso, y el peso sube el cubo lleno. En mediciones de campo en Chad, una persona subía de 39 a 130 litros por minuto a alturas de 1,8 a 6,2 m. Con el mismo esfuerzo, cuanto más alto se sube, menos agua llega.

El cigoñal: en cuanto el campesino suelta la pértiga, el contrapeso sube el cubo lleno.

El tornillo de Arquímedes es una hélice que gira dentro de un tubo inclinado unos 30°. El agua se queda en el punto bajo de cada espira, y ese punto sube al girar el tornillo, llevando consigo una bolsa de agua. Mueve grandes volúmenes, pero solo unos metros hacia arriba; cuanto más empinado está, más pequeña es cada bolsa.

Toda agua de riego lleva algo de sal disuelta. Las plantas y el sol se llevan el agua y dejan la sal. Las fugas de canales y parcelas, además, hacen subir el nivel freático, y el agua salada asciende entonces hasta las raíces. Un campo solo se mantiene sano si de vez en cuando un exceso de agua arrastra la sal hacia abajo y un drenaje, natural o excavado, la evacua. Si no, la sal se acumula, a veces en una costra blanca, y las cosechas caen.

Cómo construirlo



El nivel en A: cuando la plomada cae sobre la marca, las dos patas están a la misma altura.

Hacer un nivel en A. Atar por arriba dos palos de unos 2,80 m, con las patas separadas 4 m, y fijar un travesaño a cerca de 1 m del suelo. Colgar una plomada del vértice. Apoyar el bastidor en dos estacas, marcar dónde cruza el hilo el travesaño, darle la vuelta y volver a marcar: el punto medio entre ambas marcas indica el nivel.

Trazar el canal. Avanzar el bastidor desde la toma clavando una estaca en cada pata. Para dar pendiente, poner un taco bajo la pata de aguas abajo y mover esa pata hasta que la plomada caiga sobre la marca, y clavar allí la estaca: un taco de 1 cm en un bastidor de 4 m da un 0,25 %. Cavar a lo largo de las estacas y apisonar la tierra sacada en un bordo del lado de abajo.

Abrir los surcos. Sacarlos del canal con la misma pendiente suave, separados de 30 a 60 cm en suelo arenoso y de 75 cm a 1,50 m en arcilla, cada uno alimentado por una muesca en el bordo. Dejar correr el agua hasta que la tierra del final del surco esté húmeda a la profundidad de las raíces, cerrar entonces la muesca y llevar el extremo de los surcos a una zanja de desagüe para que el sobrante salga de la parcela.

Montar un cigoñal. Clavar con firmeza dos postes junto al agua, con un travesaño sobre el que pivota una pértiga de tres a cuatro metros, a un cuarto de su longitud. Colgar un cubo del brazo largo y una piedra o un saco de tierra del corto, ajustando el peso hasta que un cubo lleno suba con un ligero empujón.

O enrollar un tornillo pequeño. Enrollar un tubo flexible alrededor de un palo, de modo que cada vuelta avance más o menos lo que mide el grosor del palo. Montarlo a unos 30° sobre dos cojinetes, lo bastante bajo para que la boca del tubo se hunda en el agua durante parte de cada vuelta, y poner una manivela arriba. Girarlo en el sentido en que la boca recoge el agua al entrar en ella. Si no sube nada, probar primero el otro sentido y después reducir el ángulo o apretar las vueltas.

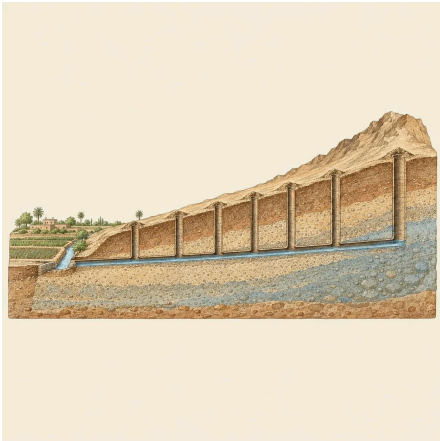
> **Seguridad.** La gente se ahoga incluso en canales estrechos de orillas empinadas y resbaladizas: no trabajar nunca solo junto al agua y mantener lejos a los niños. Hacer zanjas poco hondas, no más que la rodilla, y no bajar nunca a una más profunda: sus paredes pueden derrumbarse sin aviso. Dejar la tierra lejos del borde. No ponerse en el recorrido del contrapeso del cigoñal. Eliminar en pocos días el agua estancada, donde crían los mosquitos. Donde hay bilharziosis, sus parásitos viven en agua dulce, quieta o corriente, y atraviesan la piel: evitar todo contacto de la piel con el agua de los canales. El agua de riego no es agua potable.

Historia y evolución

En Choga Mami, en el este de Irak, cerca de la frontera con Irán, los excavadores hallaron canales de hacia 6000 a. C. que interpretan como acequias de riego; algunos los sitúan más cerca de 5500 a. C. Después, las ciudades de Sumer vivieron de los canales del Tigris y el Éufrates, y textos de Lagash describen redes completas hacia 2400 a. C.

En Egipto, diques de tierra dividían la llanura inundable en cuencas. Durante la crecida, unas compuertas dejaban entrar el agua, que permanecía allí cerca de un mes y se evacuaba antes de la siembra. El cigoñal, representado en un sello mesopotámico de hacia 2200 a. C., llegó a Egipto en el II milenio a. C.

Autores griegos atribuyen a Arquímedes, en el siglo III a. C., el tornillo usado en Egipto; la asirióloga Stephanie Dalley lee en una inscripción de Senaquerib, hacia 700 a. C., la descripción de tornillos de bronce en Nínive, una lectura aún discutida. Los qanats, galerías que llevan el agua subterránea durante kilómetros, suelen atribuirse al Irán del I milenio a. C., aunque son difíciles de fechar; en 2015 seguían funcionando allí unos 37 000.



Un qanat capta el agua subterránea bajo las colinas y la saca a la superficie por una galería.

En 1958, Thorkild Jacobsen y Robert Adams sostuvieron que el aumento de la sal llevó a los campesinos sumerios a cambiar el trigo por la cebada, más resistente; Marvin Powell rebatió esa teoría en 1985. El riego por goteo, desarrollado en Israel por el ingeniero Simcha Blass y fabricado por Netafim desde 1965, lleva hoy el agua al pie de cada planta.

Cifras clave

Primer riego por canales conocido

Choga Mami, este de Irak, hacia 6000 a. C. (algunas estimaciones: 5500 a. C.)

Inclinación del tornillo de Arquímedes

Unos 30° por lo general; Vitruvio usa un triángulo 3-4-5, unos 37°

Parte de las tierras de cultivo

Cerca del 18 % de la tierra arable del mundo estaba regada en 2000 (FAO)

Caudal de un cigoñal, una persona

39–130 litros por minuto, para alturas de 1,8 a 6,2 m (mediciones de campo en Chad)

Pendiente de los surcos

0,05–0,5 %, es decir, de 0,5 a 5 m de desnivel por kilómetro (FAO)

Fuentes

1. Choga Mami · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Choga_Mami
2. Dating Ancient Canal Systems Using Radiocarbon Dating and Archaeological Evidence at Tello/Girsu (Egberts et al., 2023) · Radiocarbon 65(4), Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/radiocarbon/article/dating-ancient-canal-systems-using-radiocarbon-dating-and-archaeological-evidence-at-tellogirsu-southern-mesopotamia-iraq/DFCB7F569B744396C9E4BDA923A8EB07
3. Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide (Yannopoulos et al., 2015) · Water 7(9), MDPI https://www.pumpfundamentals.com/pumps%20historical.pdf
4. Shadoof · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shadoof
5. The Ten Books on Architecture, Book X (water screw, ch. 6) · Vitruvius, LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Archimedes' screw: optimal design · Chris Rorres, New York University https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/optimal.html
7. The mystery of the Hanging Garden of Babylon (Stephanie Dalley) · Oxford University Press https://blog.oup.com/2013/06/mystery-hanging-garden-babylon/
8. Ancient Egypt water engineering · University of Wisconsin–Madison, Ancient Engineering Technologies https://ancientengrtech.wisc.edu/ancient-egypt-water-engineering
9. Qanat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat
10. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 2 Basin irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e03.htm
11. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 3 Furrow irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e04.htm
12. Canals, Annexes 2 and 3: How to construct a canal; How to determine the slope of a canal alignment · FAO http://www.fao.org/4/ai585e/ai585e07.pdf
13. Simple methods for aquaculture: contour levelling methods (A-frame level) · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707e/x6707e06.htm
14. Irrigation Water Management: Introduction to Irrigation, ch. 7 Salinity · FAO https://www.fao.org/4/R4082E/r4082e08.htm
15. The Challenge of Salinization · Soil Science Society of America https://soils4teachers.org/files/s4t/know-soil-challenge-of-salinization.pdf
16. Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture (Jacobsen and Adams, 1958) · Science 128, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00116827
17. Salt, Seed, and Yields in Sumerian Agriculture. A Critique of the Theory of Progressive Salinization (Powell, 1985) · Zeitschrift für Assyriologie 75, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00062118
18. Water factsheet · FAO https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faowater/docs/FAOWfactsheet.pdf
19. What Israeli drips did for the world · The Times of Israel https://www.timesofisrael.com/what-israeli-drips-did-for-the-world/
20. Schistosomiasis fact sheet · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/schistosomiasis
21. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw (Rorres, 2000) · Journal of Hydraulic Engineering 126(1), ASCE https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/screw.pdf
22. Water Lifting Devices (Fraenkel), 3.6.3 Archimedean screw and open screw pumps · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E06.htm
23. Water Lifting Devices (Fraenkel), 4.2 Human power · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E08.htm

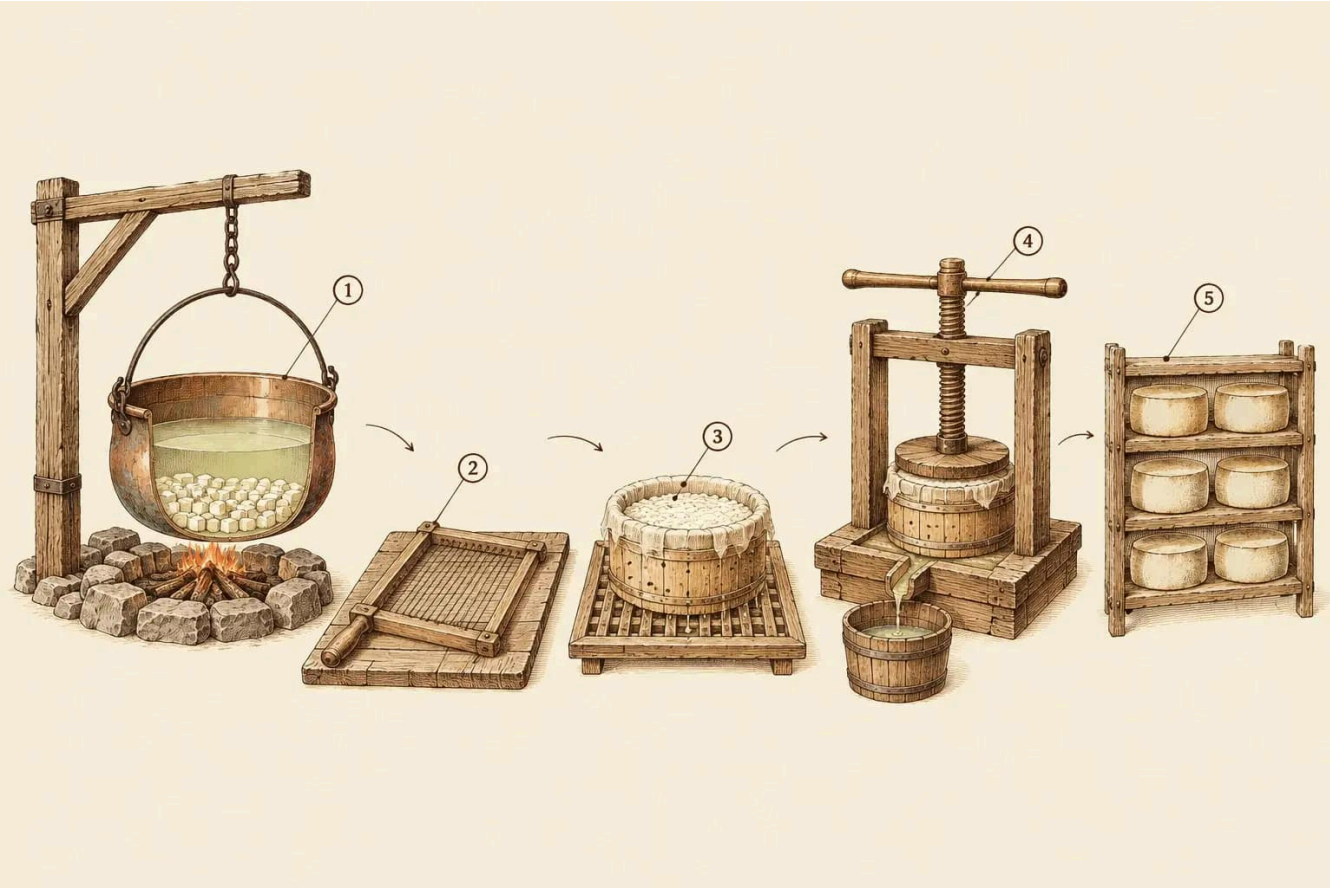
Datos verificados el 2026-10-14

Queso

Leche que dura meses

h. 5500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cerámica (p. 23)



1 Caldero de cobre con la cuajada cortada en el suero 2 Lira para cortar la cuajada 3 Molde forrado con un paño 4 Prensa de husillo 5 Estantes de maduración

El queso es leche cuya proteína se ha cuajado, se ha escurrido de su suero y muchas veces se ha salado y madurado, de modo que dura mucho más que la leche fresca. Restos de grasa láctea en vasijas neolíticas agujereadas muestran que en Europa ya se hacía hace más de 7000 años.

Qué es

El queso es un alimento sólido que se obtiene haciendo cuajar la proteína de la leche y escurriendo su parte acuosa, el suero. Los quesos frescos se comen en pocos días; los de pasta dura se prensan, se salan y maduran durante meses o años. En todos los casos se pierde la mayor parte del agua, y con ella buena parte de la lactosa, el azúcar de la leche que muchos adultos digieren mal.

La lámina sigue un queso de granja del siglo XVIII a lo largo de sus etapas: la cuajada cortada en un caldero de cobre sobre el fuego, la lira de alambres que la cortó, un molde forrado con un paño, una prensa de husillo y los estantes donde maduran las piezas.

Cómo funciona

La leche es sobre todo agua con gotitas de grasa, lactosa y proteínas. Cerca de cuatro quintas partes de la proteína de la leche de vaca son caseínas, que flotan en diminutos grumos llamados micelas. Cada micela lleva una capa exterior vellosa formada por una caseína concreta, la caseína kappa, que mantiene separados los grumos.

El cuajo, tradicionalmente sacado del estómago de un ternero joven, contiene la enzima quimosina. Esta corta la caseína kappa en un punto preciso y rasura la capa vellosa. Con ayuda del calcio de la leche, las micelas desnudas se unen en un gel blando, la cuajada, que encierra la grasa. Los queseros suelen añadir el cuajo a la leche a unos 30 a 32 °C. La acidez también cuaja la leche, a menudo con ayuda del calor: el paneer se hace añadiendo zumo de limón o ácido cítrico a la leche caliente.

El corte de la cuajada: cuanto más pequeños los cubos, más suero sale y más duro será el queso.

Cuando el gel está firme, el quesero lo corta en cubos. De cada cara cortada rezuma suero. Al remover y calentar suavemente sale más, y el tamaño de los cubos decide lo seco que será el queso. La cuajada se pone luego en moldes y se prensa, se sala en superficie o en salmuera y se deja madurar. Durante la maduración, bacterias y enzimas rompen proteínas y grasas en moléculas más pequeñas que dan el sabor y cambian la textura. La sal saca agua de la superficie, frena los microbios indeseados y ayuda a formar la corteza.

Cómo hacerlo

El queso más sencillo de hacer en casa es el paneer, cuajado con calor y ácido y consumido fresco. Hacen falta 2 litros de leche entera de vaca pasteurizada, unos 5 g de ácido cítrico disueltos en 250 ml de agua (o el zumo colado de dos limones), una olla de fondo grueso, un termómetro, un colador, una gasa, una tabla y un peso de 2 a 3 kg.

Calentar la leche. Lleve la leche a 85 o 90 °C removiendo para que no se pegue, retírela del fuego y deje que baje a unos 70 °C. Si cuaja mucho más caliente, el queso sale duro y seco; mucho más fría, queda húmedo.

Cuajar. Vierta el ácido poco a poco removiendo con suavidad, hasta que se separen grumos blancos y el suero quede claro y de color amarillo verdoso. Puede que no haga falta todo. Deje la olla quieta diez minutos.

Escurrir y prensar. Forre el colador con la gasa, vierta la cuajada y deje salir el suero. Doble la gasa por encima, ponga la tabla y el peso y prense de 30 a 60 minutos, hasta que el bloque se sostenga.

Enfriar y guardar. Corte el bloque en trozos y sumérjalos una o dos horas en agua helada para que se afirmen. Guarde el paneer en la nevera a 4 °C o menos y cómalo en tres días. Dos litros de leche de vaca dan unos 350 g.

Los quesos prensados con cuajo que maduran durante semanas necesitan un fermento bien dosificado, controles de acidez en cada fase y una cava a la temperatura y humedad adecuadas. Apréndalos con una receta completa y probada, o en un curso, antes de intentarlo.

> **Seguridad.** Use leche pasteurizada: la leche cruda puede llevar listeria, E. coli y otras bacterias peligrosas, y los quesos blandos de leche cruda son una fuente conocida de listeriosis, un riesgo grave durante el embarazo. La leche caliente quema y se sale con facilidad: mantenga a los niños lejos de la olla. Limpie cada utensilio, enfríe el queso en cuanto esté hecho y no se fíe del olor ni del aspecto para juzgar si es seguro: tire todo queso guardado demasiado tiempo, demasiado caliente, o que huela o parezca anormal.

Historia y evolución

La mayoría de los adultos de las primeras comunidades agrícolas no digerían la lactosa, aunque los niños sí. Al escurrir el suero, el queso pierde casi toda la lactosa, y en el yogur las bacterias descomponen una parte. En la costa dálmata de Croacia aparecen restos de leche en vasijas de hace unos 7700 años, y restos de lácteos fermentados, queso fresco o yogur, de hace unos 7200 años.

Un colador neolítico de cerámica como los de Cuyavia, en Polonia, que conservaban grasas lácteas: probablemente un escurridor de queso.

En Cuyavia, en el centro de Polonia, un equipo dirigido por Mélanie Salque, de la Universidad de Bristol, analizó 50 fragmentos de 34 vasijas agujereadas de los primeros agricultores de Europa central, de unos 7000 a 7500 años, y encontró abundantes grasas lácteas. Ninguna molécula es exclusiva del queso, pero escurrir la cuajada del suero es el uso evidente de esos coladores, y el estudio de 2012 los considera la prueba directa más antigua de la elaboración de queso.

El queso más antiguo conservado tiene unos 3600 años y acompañaba a momias del cementerio de Xiaohe, en Xinjiang. El autor romano Columela, hacia el año 65 d. C., describió el cuajado, el prensado, el salado y la maduración casi como se practican hoy.

Los monasterios medievales conservaron y perfeccionaron muchos quesos, y las menciones del roquefort en los registros de la abadía de Conques se remontan a 1070. En Estados Unidos el queso siguió siendo un producto de granja hasta 1851, cuando Jesse Williams, en el condado de Oneida, en el estado de Nueva York, empezó a elaborarlo con la leche reunida de las granjas vecinas: fue la primera fábrica de queso de Estados Unidos. El extracto de cuajo comercial apareció en las décadas de 1860 y 1870, y después llegaron los cultivos bacterianos puros, que hicieron la elaboración mucho más regular. Hoy la mayor parte del cuajo es quimosina producida por microorganismos.

Los ojos redondos de algunos quesos alpinos son burbujas de dióxido de carbono producido por bacterias durante la maduración.

Cifras clave

Prueba directa más antigua
Grasas lácteas en coladores de cerámica, Cuyavia (Polonia), hace unos 7000 a 7500 años

Temperatura habitual de cuajado
Unos 30 a 32 °C

Parte de la proteína de la leche que cuaja
Las caseínas, cerca del 80 % de la proteína de la leche de vaca

Primera fábrica de queso de Estados Unidos
Jesse Williams, condado de Oneida (Nueva York), 1851

Fuentes

1. Say cheese! Central European farmers did, 7,500 years ago · NBC News https://www.nbcnews.com/id/wbna50177947
2. Evidence of 7,200-year-old cheese making found on the Dalmatian Coast · Penn State University https://www.psu.edu/news/research/story/evidence-7200-year-old-cheese-making-found-dalmatian-coast
3. Extent of κ-casein hydrolysis during renneting of bovine milk (Kayihura, Food Science & Nutrition, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10916671/
4. Technology of paneer · INFLIBNET e-PG Pathshala (Technology of Milk and Milk Products) https://ebooks.inflibnet.ac.in/ftp04/chapter/technology-of-paneer/
5. History of cheese · International Dairy Foods Association https://www.idfa.org/news-views/media-kits/cheese/history-of-cheese
6. Cheese · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cheese

Datos verificados el 2026-10-12

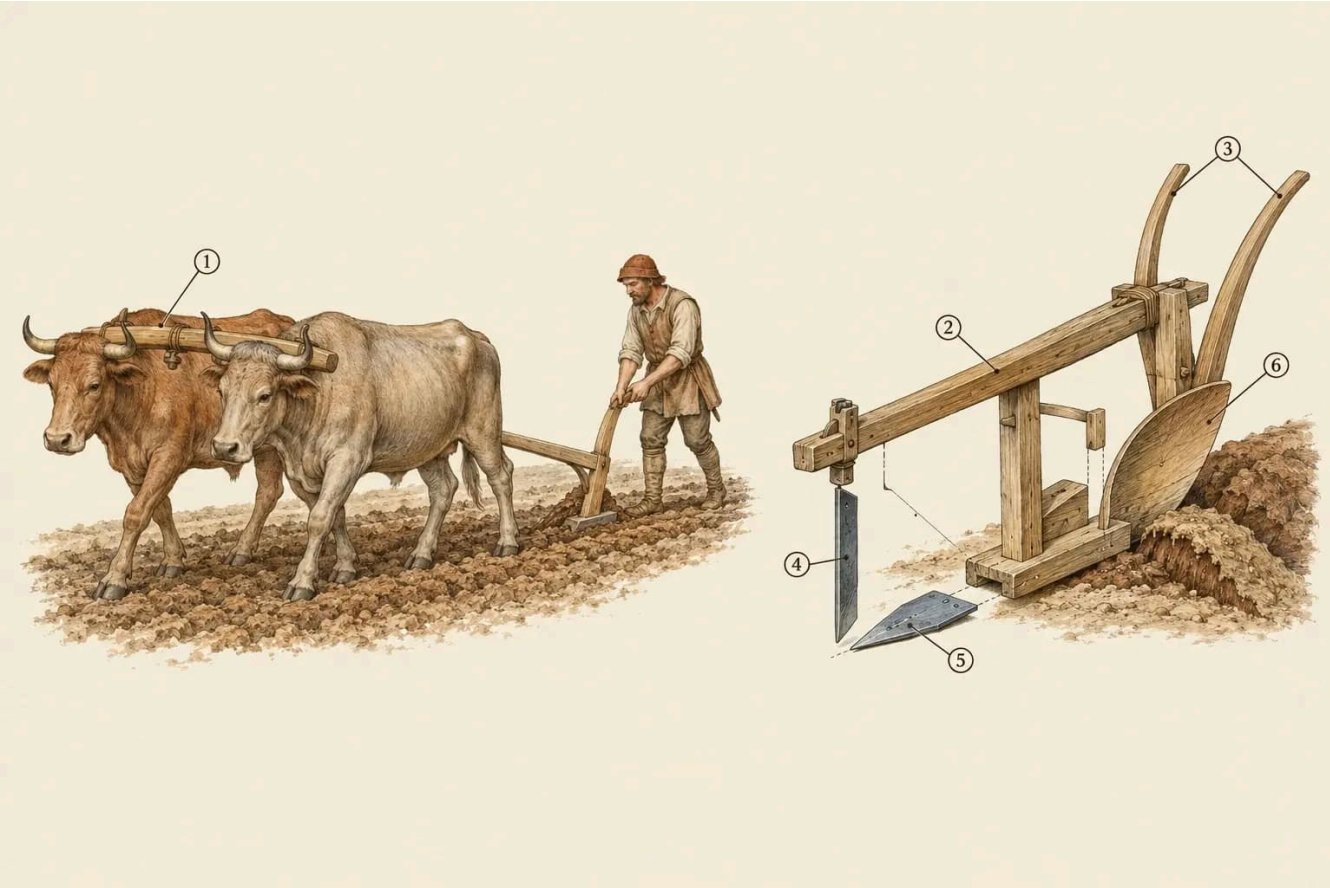
Arado

Abrir la tierra para la semilla

h. 5000 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5), Cuerda y cordaje (p. 13)

Conduce a: Rotación de cultivos (p. 109)



1 Yugo 2 Timón 3 Estevas 4 Cuchilla 5 Reja 6 Vertedera

El arado se arrastra por el terreno para cortar y mullir la tierra antes de la siembra. Los primeros arados de palo solo arañaban un surco; el arado de vertedera, que voltea la tierra, abrió al cultivo los suelos pesados y húmedos del norte de Europa.

Qué es

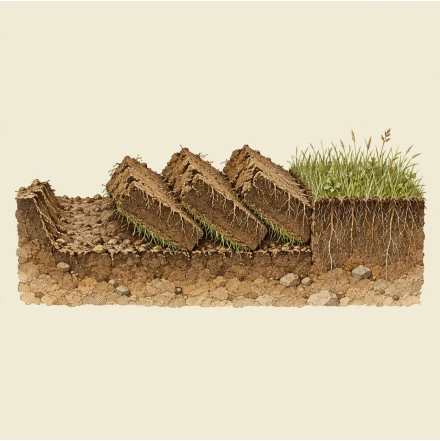
El arado es una hoja que personas, animales o un motor arrastran por la tierra. Rompe la capa superior del suelo, entierra las malas hierbas y los restos de la última cosecha y mulle el terreno para que después la grada deshaga los terrones y deje la tierra lista para sembrar. Con un arado y una yunta, una familia podía cultivar mucha más tierra que con azada o palo cavador.

El arado de palo, o arado romano, tiene una reja puntiaguda que abre un surco somero sin voltear la tierra. El arado de vertedera corta una tajada de tierra y la pone del revés. La lámina muestra ambos: a la izquierda, bueyes con un arado de palo; a la derecha, las piezas de un arado de vertedera.

Un arado de palo hecho enteramente de madera.

Cómo funciona

El arado de palo es una cuña. La reja avanza con poca inclinación, a pocos centímetros bajo la superficie, y empuja la tierra arriba y a los lados. Mulle el suelo sin invertirlo, lo que conviene en tierras ligeras y secas donde hay que guardar la humedad. Se solía arar dos veces, la segunda en perpendicular, y por eso estos campos tendían a ser cuadrados.



Las tajadas volteadas se apoyan unas en otras, con la hierba hacia abajo.

En el arado de vertedera, tres piezas actúan sobre la tierra una tras otra. La cuchilla, una hoja vertical que cuelga del timón, corta el terreno por delante. La reja, una hoja plana cerca del fondo, separa la tajada por debajo. La vertedera, una tabla curva detrás de la reja, levanta la tajada, la gira y la deja boca abajo contra la anterior. Hierbas y rastrojo quedan enterrados, y la tierra de abajo, expuesta al aire y a la helada.

Una vertedera fija echa siempre la tierra al mismo lado. Los labradores medievales araban cada franja larga en torno a su línea central, de modo que cada pasada volcaba la tierra hacia el centro y la franja se iba levantando en un caballón, que ayudaba a drenar la arcilla húmeda.

Un arado de palo ligero pide uno o dos animales. Los arados pesados medievales en tierras arcillosas podían requerir hasta ocho bueyes. Hoy un tractor arrastra varios cuerpos en paralelo; cada uno voltea una tajada de 20 a 30 centímetros de profundidad.

Cómo construirlo

Un arado de palo sencillo puede hacerse solo de madera, con hacha, cuchillo y barrena. Los pasos siguientes son un esquema, sin planos acotados.

Buscar la madera. Hace falta una rama de madera dura, como fresno o roble, con un codo natural donde una rama gruesa se une a otra más fina. El brazo largo será el timón; el corto, cortado a unos 40 centímetros, hará de reja y de dental. Una horquilla de una pieza resiste mucho más que un ensamble.

Labrar la reja. El brazo corto se recorta en punta roma, plana por debajo. Debe tocar el suelo a unos 30 grados con el timón levantado a la altura del yugo. La madera desnuda se gasta pronto, así que conviene tallar una punta de repuesto; una de hierro dura mucho más.

Poner la esteva. Se taladra el timón justo encima de la reja y se encaja una esteva vertical, bien acuñada, para que el labrador dirija y apriete hacia abajo.

Hacer el yugo. El yugo de cuello es una pieza labrada que asienta delante de la cruz de los bueyes, con arcos de madera o correas alrededor de cada cuello. El extremo del timón se ata al centro del yugo con una cuerda o una clavija de madera.

Arar. Solo deben usarse bueyes ya domados al yugo, con un boyero experto a su cabeza. Se empieza con pasadas cortas en tierra húmeda, no encharcada, apoyándose en la esteva para mantener la reja en el suelo.

> **Seguridad.** Los bueyes son fuertes y pueden espantarse. Nunca hay que ponerse entre un animal y el arado; conviene atar el enganche con un nudo de suelta rápida y dar a la yunta descanso y agua. Si un yugo roza, hay que parar enseguida: un yugo mal ajustado causa mataduras y lesiones. Hay que mantener los pies lejos de la reja.

Historia y evolución

El arado de palo llegó cuando ya se había domado el ganado vacuno para el tiro, aunque nadie sabe exactamente cuándo. Las marcas de arado más antiguas halladas hasta ahora, arañazos sellados bajo limos fluviales en Sion (Suiza), datan del 5100 al 4700 a. C.; otras más recientes, del norte de Italia, Dinamarca y Praga-Bubeneč, datan aproximadamente del 4300 al 3500 a. C. En el Próximo Oriente, donde quizá sea aún más antiguo, no se conservan marcas de arado. Improntas de sellos y textos de Mesopotamia muestran arados en el III milenio a. C., algunos con un embudo que echaba la semilla directamente en el surco. Un campo arado en Kalibangan, en el noroeste de la India, data de hacia el 2800 a. C.

Hacia el 1000 a. C., los arados del Próximo Oriente adoptaron una reja desmontable y recambiable, y los campesinos chinos usaban rejas de hierro hacia el 500 a. C. Con la dinastía Han, en los siglos I y II d. C., los talleres chinos fundían vertederas curvas de hierro que volteaban bien la tierra con una yunta pequeña.

En Europa, algunos hallazgos de la Britania romana tardía apuntan a arados capaces de voltear la tierra, aunque su forma exacta se discute. El arado pesado con cuchilla y vertedera se extendió desde el siglo VII por las llanuras arcillosas del norte, a menudo con ruedas y tirado por grandes yuntas de bueyes. Con él se roturó más tierra y tomaron forma los largos campos en franjas de la aldea medieval.

En el siglo XVIII, los fabricantes ingleses construyeron arados más ligeros. El de Rotherham, patentado en Inglaterra en 1730 por Joseph Foljambe, tenía un bastidor triangular y hierro en la vertedera, y podían tirar de él dos caballos. En el Medio Oeste estadounidense, la tierra pegajosa de la pradera se adhería al hierro fundido. John Lane en 1833 y John Deere en 1837 fabricaron arados con hojas de acero liso que se limpiaban solas al cortar.

Un arado de acero autolimpiante: la tierra pegajosa de la pradera resbala sobre el metal pulido.

Desde la década de 1850, máquinas de vapor arrastraron arados con cables, y en el siglo XX los tractores tomaron el relevo. La tierra desnuda y volteada se la lleva el viento en las sequías y la arrastra la lluvia, como mostró el Dust Bowl estadounidense de los años treinta. Hoy muchos agricultores aran menos o nada, y siembran directamente sobre el rastrojo.

Cifras clave

Marcas de arado más antiguas halladas
Sion, Suiza, 5100–4700 a. C.

Profundidad de trabajo de un arado de vertedera moderno
20–30 cm

Arado pesado con vertedera de hierro
China de los Han, siglos I–II d. C.

Arado de acero autolimpiante
Illinois, 1833–1837

Fuentes

1. Plough · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Plough
2. Ard (plough) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ard_(plough)
3. Europe's oldest plow marks discovered at Anciens Arsenaux site · Archaeology Magazine (archaeologymag.com) https://archaeologymag.com/2024/03/europes-oldest-plow-marks-discovered-at-anciens-arsenaux-site/
4. When was the plough invented? · Joe Roe (archaeologist) https://joeroe.io/2025/08/24/ploughing.html
5. Tillage (chapter 10), D. Franzen · North Dakota State University Extension https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/ebook/Franzen/PDFs/Franzen_Ch10.pdf
6. Development of the Plough: the Rotherham Plough to Now · Farmland Museum and Denny Abbey https://dennyfarmlandmuseum.org.uk/?p=1138
7. Oldest evidence of ploughing in the Czech lands (Bubeneč) · Stone Pages Archaeo News https://www.stonepages.com/news/archives/004695.html
8. Estimating Tillage Draft (TechGuide 2G-210) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingTillageDraftTechGuide.pdf
9. Matching tillage implements to draught animal potential (F. Inns) · FAO https://www.fao.org/4/w0613t/w0613T0g.htm

Datos verificados el 2026-10-11

Carbón vegetal

Leña cocida lentamente bajo tierra

h. 4500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9), Herramientas de piedra (p. 5)

Conduce a: Bronce (p. 123), Pólvora (p. 181), Reducción del hierro (p. 136), Acero (p. 140)

1 Chimenea central entre estacas 2 Leña ya convertida en carbón 3 Capa de hojas, paja y tepes 4 Cubierta de tierra y cisco 5 Respiradero al pie de la carbonera 6 Leña aún sin carbonizar

El carbón vegetal es madera calentada con tan poco aire que se carboniza en vez de arder, y deja un combustible negro y ligero formado sobre todo por carbono. Usado por los metalurgos desde al menos el V milenio a. C., y fabricado después en carboneras cubiertas de tierra y en hoyos, dio a los metalurgos el calor y el gas reductor que necesitaban para sacar el cobre y después el hierro de sus minerales.

Qué es

El carbón vegetal es lo que queda de la madera calentada con demasiado poco aire para arder. El agua y casi todas las materias volátiles se van en el humo, y queda un sólido negro, quebradizo y ligero, compuesto en gran parte de carbono.

A igualdad de peso, da aproximadamente el doble de calor que la leña secada al aire. Arde casi sin llama ni humo y, con un fuelle, alcanza temperaturas que un fuego de leña apenas sostiene. En un horno forma además

monóxido de carbono, el gas que quita el oxígeno a los minerales. Durante unos seis mil años fue el combustible del cobre, del bronce y del hierro.

La lámina muestra la carbonera cubierta de tierra que los carboneros levantaban en los bosques de Europa hasta el siglo XX: una cúpula de leña apilada alrededor de una chimenea central, envuelta en hojas y tierra, que se deja arder sin llama durante días.

La misma madera antes y después: el carbón encoge y se agrieta, pero conserva la veta del árbol.

Cómo funciona

Al calentarse, la madera primero se seca a 100 °C o algo menos y luego sube hasta unos 280 °C. Ambos pasos consumen energía, que aporta la combustión de una pequeña parte de la carga. Por encima de unos 280 °C, la madera se descompone por sí sola y desprende calor. Escapan agua, ácidos, alquitranes y gases combustibles, y queda el carbón.

El hoyo funciona igual: la leña se carboniza en un agujero en el suelo, bajo hojas y tierra.

Sin calor externo, la reacción no pasa de unos 400 °C y el carbón conserva alrededor de un 30 % de materias alquitranosas. Llevado a 500 °C, alcanza cerca de un 86 % de carbono fijo, pero el calor se paga en rendimiento: respecto a la madera anhidra, se obtiene cerca de un 42 % de carbón a 300 °C y un 33 % a 500 °C, sin contar la leña que se quema para calentar.

La cubierta de tierra hace de pared de horno. Solo deja pasar el aire que el carbonero admite por los respiraderos del pie. Un poco de leña arde, gasta ese oxígeno y su calor cuece el resto. El fuego se enciende en la chimenea central y avanza despacio por la pila hacia fuera, hasta el pie. El humo indica el progreso: espeso y blanco mientras la leña se seca, azulado después y casi transparente cuando una zona está hecha. Al carbonizarse, la leña merma, la carbonera se hunde y la cubierta se agrieta. Cada grieta debe taparse enseguida, o el carbón se quema hasta hacerse ceniza.

Cómo se construye

Estos son los pasos de una carbonera pequeña. Hacen falta unos pocos metros cúbicos de leña de frondosas bien seca, como roble, haya o avellano, partida de modo que ninguna pieza supere unos 20 cm de grosor, además de paja u hojas, tierra arenosa o franca, una pala, un rastrillo y unos 100 litros de agua.

Preparar la plaza. Limpie hasta la tierra desnuda un círculo llano y bien drenado de unos 6 m de diámetro, lejos de ramas bajas y edificios.

Levantar la leña alrededor de la chimenea. Clave tres o cuatro estacas en el centro para formar un conducto. Tienda en el suelo una retícula de leños delgados para que los gases circulen bajo la pila. Coloque los leños de pie contra el conducto, algo inclinados hacia él y bien apretados, y rellene los huecos con leña menuda. Una carbonera de pueblo suele medir unos 4 m de diámetro y de 1 a 1,5 m de alto.

Cubrir. Extienda hojas, paja o tepes sobre la leña y después de 10 a 20 cm de tierra, mezclada con cisco si lo tiene. Evite la arcilla pegajosa, que se agrieta al secarse. Deje de seis a diez respiraderos alrededor del pie.

Encender y vigilar. Eche por la chimenea una palada de brasas y aliméntelas con astillas secas hasta que prenda el centro de la pila. Cuando suba un humo blanco y espeso de forma constante, cierre en parte la boca superior. A partir de entonces alguien vigila la carbonera día y noche: tapa las grietas con tierra húmeda, cierra cualquier respiradero que se vea al rojo y abre otros nuevos en el lado que se retrasa. Una carbonera pequeña puede terminar en uno o dos días; las tradicionales de tamaño medio tardaban de doce a catorce.

Ahogar, enfriar y sacar. Cuando el humo se vuelva fino y azul, cierre todos los agujeros y añada tierra. Espere a que la carbonera esté fría por completo, lo que en una pequeña lleva dos o tres días; luego ábrala por sectores, saque el carbón con el rastrillo y apague con arena o un poco de agua cualquier trozo que siga encendido o humee. El carbón caliente puede volver a prender al aire libre, así que siga atento.

> **Seguridad.** Una carbonera puede provocar un incendio forestal: consulte las normas locales sobre fuegos al aire libre, mantenga la plaza limpia de vegetación y tenga a mano agua, arena y una pala. El humo es rico en monóxido de carbono, que no huele y mata. Colóquese a barlovento, no se incline nunca sobre un respiradero ni sobre la chimenea, y nunca carbonice, enfríe ni guarde carbón caliente en un lugar cerrado. No se suba nunca a la carbonera: al mermar la leña, la cubierta puede ceder sobre un hueco incandescente y causar quemaduras graves. Use guantes y botas de cuero y mantenga alejados a los niños.

Historia y evolución

El carbón vegetal es tan antiguo como el uso del fuego: cada hogar prehistórico deja algo, y los arqueólogos lo usan para datarlo. En la cueva de Chauvet, en Francia, se dibujaron animales con carbón de pino hace unos 37 000 a 34 000 años.

El metal creó la primera gran demanda, aunque no se sabe cuándo se empezó a fabricar a propósito. En el V milenio a. C., en el Levante meridional y en la meseta iraní, se calentaba mineral de cobre con carbón en crisoles y hornos pequeños. En Horvat Beter, cerca de Beerseba, el mineral llegaba desde Wadi Faynan, a más de 100 km. Una estimación publicada en 1982, basada en registros posteriores y en experimentos, calcula de 20 a 40 kg de carbón por kilo de cobre. Con 100 kg de carbón para una fundición de 5 kg, y siete partes de leña por una de carbón, salen unos 700 kg de leña. En China, los hornos de carbón más antiguos hallados hasta ahora, en Xiwubi (Shanxi), estaban junto a restos de fundición de cobre del período Erlitou, hacia 1900 a 1600 a. C.

Según la misma estimación, el hierro no necesitaba más de 10 kg de carbón por kilo, forja incluida, pero se producía en cantidades mucho mayores, y el carboneo se convirtió en un oficio del bosque. En el Weald inglés y en el valle de Carranza, en Bizkaia, los carboneros abastecieron ferrerías y fraguas durante siglos; trabajaban de la primavera al otoño y vivían con sus familias en chozas junto a las carboneras.

Los carboneros vivían junto a sus carboneras en chozas de varas y tepes, para vigilarlas día y noche.

En el siglo XVIII, un alto horno inglés consumía unas ocho toneladas de leña, convertidas en dos de carbón, por cada tonelada de arrabio. En 1709 Abraham Darby fundió hierro con coque de hulla en Coalbrookdale, y el coque se fue imponiendo. El carbón vegetal sobrevivió en otros lugares: en 2011 aún producía cerca del 30 % del arrabio de Brasil, frente a menos del 1 % en el mundo, con leña de plantaciones de eucalipto

pero también de bosque nativo. Sigue siendo además el combustible de la barbacoa, el carboncillo de sauce del dibujante y, una vez activado, el carbono de los filtros.

Cifras clave

Carbonización espontánea
Desde unos 280 °C; el buen carbón se termina hacia 500 °C

Contenido de carbono
Cerca del 68 % de carbono fijo a 300 °C y del 86 % a 500 °C

Hornos de carbón más antiguos de China
Xiwubi (Shanxi), hacia 1900–1600 a. C., junto a restos de fundición de cobre

Rendimiento de una carbonera
1 t de carbón por 4 t de leña secada al aire si se trabaja bien; con más frecuencia, 1 por 6

Combustible del cobre (estimación)
Unos 20–40 kg de carbón por kilo de cobre, según registros posteriores y experimentos

Fuentes

1. Simple technologies for charcoal making, chapter 4: Carbonisation processes (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e05.htm
2. Simple technologies for charcoal making, chapter 6: Making charcoal in earth mounds (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/X5328E/x5328e07.htm
3. Simple technologies for charcoal making, chapter 5: Earth pits for charcoal making (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e06.htm
4. Fuel for the Metal Worker (Lee Horne, Expedition 25.1, 1982) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition/fuel-for-the-metal-worker/
5. Charcoal Burning: Keeping an Ancient Craft Alive · Weald & Downland Living Museum https://www.wealddown.co.uk/museum-news/charcoal-burning/
6. Charcoal burning in the valley of Carranza (Bizkaia) · Labayru Fundazioa https://labayru.eus/en/basque-ethnography-at-a-glance/charcoal-burning-in-the-valley-of-carranza-bizkaia
7. Charcoal Burning (Wyre Forest) · Revolutionary Players, History West Midlands https://revolutionaryplayers.org.uk/?p=2368
8. The Chauvet cave: 30 years since its discovery. Contribution from radiocarbon dating · Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) https://www.lsce.ipsl.fr/en/the-chauvet-cave-30-years-since-its-discovery-contribution-from-radiocarbon-dating/
9. Archaeologists Unearth 6,500-Year-Old Copper-Smelting Workshop in Israel · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/copper-smelting-workshop-horvat-beter-israel-08923.html
10. Shanxi discovers earliest charcoal kiln relics in China · China Daily https://regional.chinadaily.com.cn/shanxi/2021-08/23/c_654303.htm
11. Invention of Coke Smelting · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/invention-coke-smelting
12. Sustainable charcoal (Pesquisa FAPESP 189, 2011) · Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/carvao-vegetal-sustentavel/

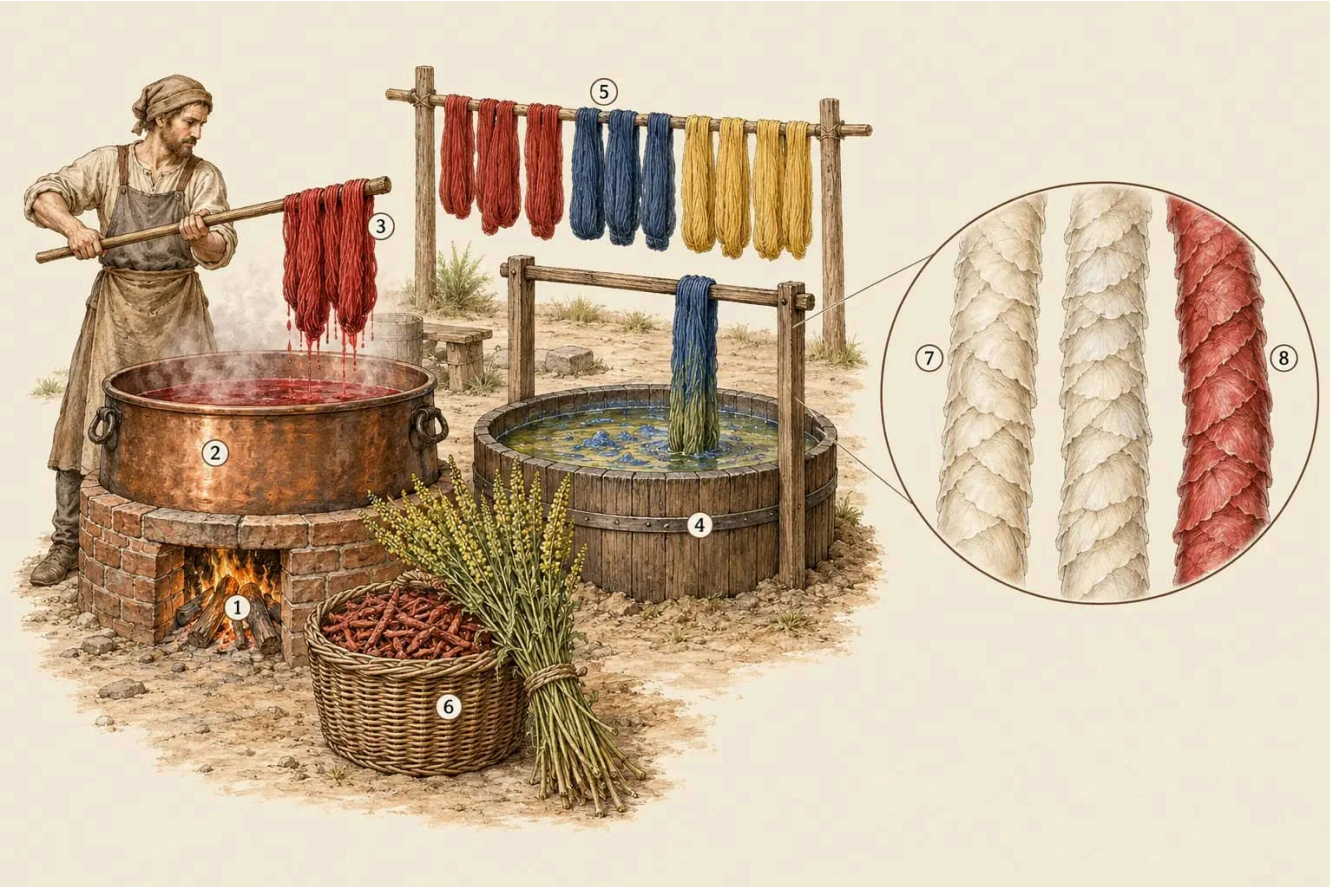
Datos verificados el 2026-10-13

Teñido

El color fijado en la fibra

h. 4200 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cuerda y cordaje (p. 13), Cerámica (p. 23), Dominio del fuego (p. 9)



1 Fuego bajo la caldera 2 Caldera de cobre con el baño de rubia 3 Madejas levantadas con un palo 4 Tina de índigo 5 Vara de secado con madejas rojas, azules y amarillas 6 Raíces de rubia y gualda 7 Fibra de lana cruda 8 Fibra mordentada y teñida de rojo

El teñido mete el color dentro de la fibra: el tinte penetra en el hilo o la tela y resiste el lavado. La mayoría de los tintes vegetales, como la rubia y la gualda, dan colores más intensos y sólidos con un mordiente, casi siempre alumbre, mientras que el índigo se vuelve soluble en una tina y recupera el azul al aire.

Qué es

La pintura queda en la superficie de la tela y puede desgastarse; un tinte entra en la fibra disuelto en agua y se queda allí con los lavados. Casi todos los tintes salían de plantas, y unos pocos de insectos y caracoles marinos.

En la lana sin mordentar, la raíz de rubia, el rojo clásico, y la gualda, el amarillo clásico, dan colores más débiles que se apagan y se van con el lavado más fácilmente. Los tintoreros los fijaban con un mordiente, una sal metálica que se aplica antes a la fibra y a la que se une el tinte; durante la mayor parte de la historia fue el alumbre. El índigo, el azul, no se disuelve en agua en absoluto y hay que transformarlo químicamente en una tina antes de que pueda entrar en el hilo.

La lámina muestra el patio de un tintorero de la Baja Edad Media: un baño de rubia en una caldera de cobre (2) sobre el fuego (1), madejas levantadas con un palo (3), la tina de índigo (4), hilo secándose en una vara (5) y las materias tintóreas (6). El círculo muestra ampliadas una fibra de lana cruda (7), otra tratada con alumbre, todavía pálida, y una mordentada y teñida (8).

Cómo funciona

El rojo de la rubia procede de compuestos de sus raíces, sobre todo alizarina y purpurina. Solos dan a la lana un naranja más débil y apagado, que se pierde antes. Si la lana ha hervido antes a fuego lento en alumbre, un sulfato doble de aluminio y potasio, retiene aluminio; en el baño de tinte las moléculas de la rubia se unen a él y forman un compuesto coloreado que ya no se disuelve y queda dentro de la fibra. El mordiente decide también el matiz: la rubia da rojo con alumbre y pardos violáceos con hierro, y la gualda amarillo vivo con alumbre y oliva con hierro.

Rubia, glasto y gualda: el rojo, el azul y el amarillo de los tintoreros europeos.

Al salir de la tina el hilo es amarillo verdoso; el aire lo vuelve azul.

El índigo se forma a partir de compuestos de las hojas de los añiles tropicales y, en Europa, del glasto. En una tina alcalina sin oxígeno, la molécula azul insoluble se reduce: gana hidrógeno y se convierte en leucoíndigo, una forma amarillo verdosa y soluble que empapa la fibra. Fuera de la tina, el oxígeno del aire la devuelve a índigo azul, ya atrapado en la fibra. Cada inmersión añade una capa, y los azules oscuros exigen muchas.

Antes de la química industrial, eran bacterias las que reducían el índigo. Se mantenía el glasto o el índigo caliente en agua con un álcali, lejía de ceniza o cal apagada, y salvado para alimentarlas; al fermentar, consumían el oxígeno y convertían el índigo en leucoíndigo. Los verdes salían de teñir de amarillo sobre un azul.

Cómo hacerlo

Estas son las líneas generales del método tradicional para la lana, no una receta probada. Hace falta hilo de lana, alumbre, rubia y gualda secas, y ollas de acero inoxidable o de esmalte en buen estado, palos y un termómetro reservados para teñir.

Preparar la fibra. Devanar el hilo en madejas flojas, atadas en varios puntos para que el tinte llegue a cada hebra. Desengrasarlo en agua tibia con jabón suave. Meter siempre la fibra mojada y cambiar la temperatura despacio: los golpes de calor y el roce afieltran la lana.

Mordentar. Maiwa, un proveedor canadiense de tintes naturales, indica alumbre al 15 % del peso de la lana seca. Disolverlo en agua caliente, añadir la lana, subir despacio hasta unos 90 °C, justo antes del hervor suave, y mantenerlo una hora más o menos. Dejar enfriar y aclarar.

Teñir de rojo o de amarillo. Remojar la rubia troceada una noche y calentarla luego suavemente con la lana mordentada una hora o más, dando la vuelta al hilo sin brusquedad. Para la rubia europea, Maiwa aconseja no pasar de unos 72 °C: con más calor el rojo se apaga hacia el marrón. La gualda se deja en remojo una noche, se

calienta y se cuela; la lana mordentada pasa luego una hora más o menos en ese baño, también por debajo de unos 71 °C, porque el exceso de calor apaga el amarillo. Dejar enfriar en el baño oscurece el tono.

Teñir de azul. Una tina tradicional de glasto o de índigo, preparada con álcali y salvado, se mantenía caliente varios días, hasta que el líquido amarillo verdoso mostraba una película cobriza y una espuma azul. El hilo entra mojado y despacio, sin salpicar, porque el aire estropea la tina; tras el tiempo que fije el método, a menudo de 20 minutos a una hora para la lana, se saca, se escurre, se deja azulear y se vuelve a sumergir. Las tinas actuales emplean otros reductores, y la lana pide un baño menos alcalino que el algodón (Maiwa indica un pH de 9 a 10 frente a 11 a 12): seguir un método probado escrito para lana y comprobar el pH.

Aclarar y lavar. Tras la rubia o la gualda, dejar enfriar el hilo en el baño, aclararlo con suavidad hasta que el agua salga limpia y secarlo a la sombra; lavarlo con jabón suave solo más tarde. Tras el índigo, dejar que el azul se desarrolle del todo al aire, aclarar con agua limpia y remojar después el hilo en vinagre diluido para neutralizar el álcali que queda en la lana. Lavarlo al final y comprobar que no suelta azul sobre un paño blanco.

> **Seguridad.** Los baños calientes escaldan: colocar la olla sobre un fuego o un hornillo estable, lejos de niños y animales. El alumbre es irritante y no debe ingerirse; las sales de hierro son nocivas en disolución concentrada. La cal apagada y la lejía de ceniza queman la piel y los ojos, la lejía ataca además las ollas de aluminio, y los reductores pueden desprender vapores tóxicos, sobre todo con ácidos: usar gafas y guantes y guardarlos secos y etiquetados. Las tinas en fermentación desprenden gases malolientes: trabajar al aire libre o con buena ventilación. No usar nunca ollas ni utensilios de cocina, ni devolver a la cocina el material de teñir. Los mordientes de cromo y de estaño, comunes antaño, son tóxicos: no utilizarlos. Los baños usados no son inocuos: los de mordiente o de hierro y los lodos de la tina contienen sales metálicas o álcali. No verterlos nunca en ríos, pozos ni sumideros pluviales; preguntar al servicio local de residuos cómo eliminarlos.

Historia y evolución

En la cueva de Dzudzuana, en Georgia, capas de más de 30 000 años contenían fibras coloreadas que los excavadores interpretan como lino teñido con plantas del lugar; el teñido es una interpretación, y la identificación como lino se ha discutido.

El índigo más antiguo conocido, identificado por análisis químico, tiñe un algodón de Huaca Prieta, en Perú, de hace unos 6200 a 6000 años. La rubia más antigua confirmada colorea un carcaj egipcio de cuero de hacia 2124–1981 a. C.

Los caracoles marinos daban la púrpura asociada a Tiro: montones de conchas trituradas prueban su producción en Creta a comienzos del II milenio a. C. y en Ugarit, en Siria, en los siglos XV y XIV a. C. El quermes, una cochinilla de la coscoja, daba un carmesí; la cochinilla americana, llegada a Europa en el siglo XVI, lo fue desplazando.

Cada caracol daba solo unas gotas de tinte; teñir para el comercio exigía muchos miles.

En la Edad Media los tintoreros formaron gremios que guardaban sus recetas y vigilaban la calidad; el de Londres, documentado en 1188, obtuvo en 1471 una carta que le permitía inspeccionar talleres y multar el mal teñido.

En 1856 William Henry Perkin, un estudiante londinense de 18 años que intentaba fabricar quinina, obtuvo de derivados del alquitrán de hulla la mauveína, el primer tinte sintético con éxito comercial. En 1868 Carl

Graebe y Carl Liebermann sintetizaron la alizarina, y el cultivo de la rubia decayó pronto; Adolf von Baeyer publicó una síntesis del índigo en 1880, y BASF lo sacó al mercado en 1897.

Cifras clave

Índigo más antiguo conocido

Sobre algodón de Huaca Prieta (Perú), de hace unos 6200 a 6000 años

Rubia en Egipto

Identificada en un carcaj de cuero de hacia 2124–1981 a. C.

Primer tinte sintético comercial

La malva o mauveína, obtenida en 1856 por William Henry Perkin, con 18 años

Fibras coloreadas anteriores

Fibras de la cueva de Dzudzuana (Georgia), de más de 30 000 años; lino discutido, teñido deducido

Gremio de tintoreros de Londres

Documentado en 1188; carta real en 1471

Fuentes

1. 30,000-year-old wild flax fibers: testimony for fabricating prehistoric linen (Science, 2009) · Kvavadze, Bar-Yosef et al., Harvard DASH https://dash.harvard.edu/handle/1/4270521
2. Early pre-Hispanic use of indigo blue in Peru (Science Advances, 2016) · Splitstoser, Dillehay, Wouters and Claro https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5023320/
3. The matter of madder in the ancient world · J. Paul Getty Museum https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/3/
4. The Minoan origin of Tyrian purple (Biblical Archaeologist, 1994) · Robert R. Stieglitz, republished by Keftiu https://www.keftiu.com/magazine/the-minoan-origin-of-tyrian-purple/
5. The Dyers' Company and dyeing · The Worshipful Company of Dyers, London https://www.dyerscompany.co.uk/?p=4304
6. Graebe, Carl · Neue Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/118877364.html
7. William Henry Perkin · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/historical-profile/william-henry-perkin
8. História da BASF, 1865–1901 · BASF https://www.basf.com/br/pt/who-we-are/organization/history/1865-1901
9. Response to comment on "30,000-year-old wild flax fibers" (Science, 2010) · Kvavadze et al., Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/response-to-comment-on-30000-year-old-wild-flax-fibers/
10. Natural dye instructions: scouring, mordanting and dyeing · Maiwa https://naturaldyes.ca/instructions
11. Madder: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/madder
12. Weld: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/weld
13. Indigo: vat instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/indigo

Datos verificados el 2026-10-13

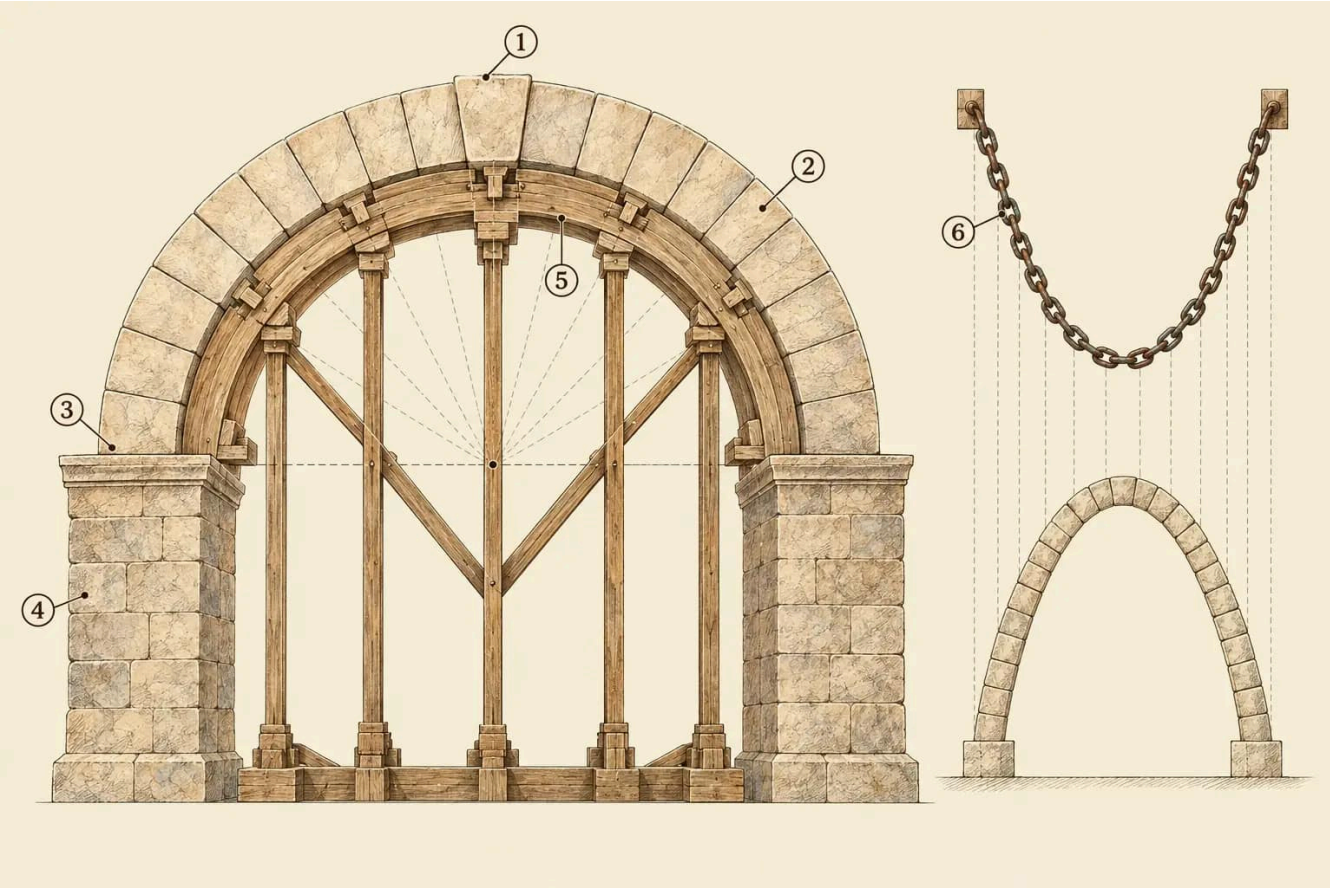
Arco y bóveda

Piedras que se sostienen entre sí

h. 3500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Ladrillos (p. 40), Herramientas de piedra (p. 5)

Conduce a: Acueducto (p. 145)



1 Clave 2 Dovela 3 Salmer 4 Estribo (pila) 5 Cimbra de madera 6 Cadena colgante (modelo de Hooke)

Un arco salva un vano con piezas en forma de cuña que se apoyan unas en otras, de modo que toda la curva trabaja a compresión y empuja sus apoyos hacia fuera. Prolongado en profundidad se convierte en bóveda, y girado sobre su eje, en cúpula: las formas que han cubierto tumbas, puentes, acueductos y catedrales durante más de cinco mil años.

Qué es

Un arco sostiene la carga que hay sobre un vano con una curva de piezas talladas en cuña, las dovelas. Cada pieza presiona sobre sus vecinas, así que todo el anillo trabaja a compresión y ninguna junta tiene que resistir tracciones. La piedra y el ladrillo resisten muy bien el aplastamiento, pero se rompen al doblarse: un dintel de piedra se parte en una luz que un arco de la misma piedra cubre sin esfuerzo.

En un falso arco, o arco por aproximación de hiladas, cada hilada se coloca en plano y sobresale un poco de la inferior hasta que los dos lados se encuentran; cada piedra se mantiene porque la fábrica de detrás carga su extremo trasero. Así se puede cubrir un pasillo e incluso una cámara redonda, contenida por la tierra o la fábrica

que la rodea. En un arco verdadero las juntas son perpendiculares a la curva, y en un arco de medio punto todas apuntan a su centro; las piezas se apoyan unas en otras y el anillo empuja sus apoyos hacia fuera.

La pieza más alta es la clave. Las más bajas a cada lado son los salmeres, que descansan sobre las pilas o muros que sostienen el arco, los estribos.

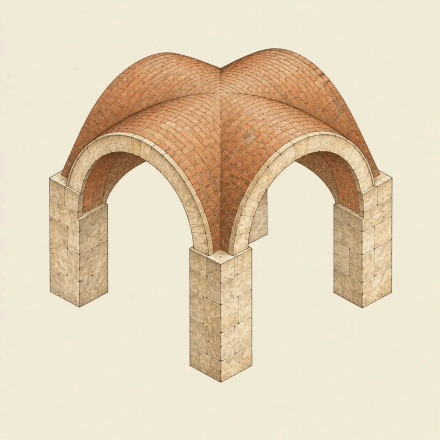
Un vano por aproximación de hiladas: todas las juntas son horizontales y a cada piedra la sujeta el muro que carga sobre su cola.

Cómo funciona

El peso que llega desde arriba empuja cada dovela hacia abajo. Sus caras son oblicuas: no puede bajar sin separar a sus vecinas, y la carga pasa de pieza en pieza hasta los salmeres. Allí la fuerza empuja hacia abajo y también hacia fuera. Esa componente horizontal es el empuje. Si un estribo se inclina o desliza, la luz se abre, la clave baja y el arco puede caer. Cuanto más rebajado es el arco, mayor es el empuje.

El recorrido de esa fuerza a través de las piedras es la línea de empujes. Desde los años sesenta, siguiendo a Jacques Heyman, los ingenieros calculan la fábrica como si no resistiera tracciones, no deslizara y no se aplastara. Las tensiones en la mayoría de los arcos son bajas, y el fallo por aplastamiento rara vez es determinante. Un arco se sostiene si al menos una línea de empujes cabe dentro de su espesor. Donde la línea toca el borde de una junta, esta puede abrirse como una bisagra; cuando se forman bastantes rótulas, normalmente cuatro, el anillo se derrumba.

En 1675 Robert Hooke publicó en un anagrama latino la regla de la forma ideal: colgar una cadena y dar la vuelta a su curva. Una cadena solo puede tirar, así que adopta la forma que piden sus cargas; invertida, esa misma curva las soporta en compresión pura.



Una bóveda de arista: donde se cruzan dos cañones, el empuje se reúne en las cuatro esquinas.

Una bóveda de cañón es un arco prolongado en profundidad. Empuja hacia fuera en toda su longitud, por lo que sus muros laterales deben ser gruesos. Dos cañones que se cruzan en ángulo recto forman una bóveda de arista: su empuje se concentra en las esquinas y los muros intermedios pueden abrirse con ventanas. Una cúpula es un arco girado sobre su eje vertical. Sus anillos horizontales se sostienen entre sí, de modo que puede quedar abierta en lo alto. La mayoría de las bóvedas y cúpulas no se sostienen hasta que se cierran, así que se construyen sobre una cimbra, un encofrado provisional de madera cortado a la curva del intradós.

Cómo construirlo

Un arco de ladrillo de unos 60 cm de luz, levantado en el suelo como pieza de práctica, sirve para un primer intento entre dos personas. Hacen falta ladrillos, mortero de cal hidráulica, tablas, listones, clavos, dos pares de

cuñas de madera dura, un nivel y un cordel.

Asentar los estribos. Sobre una base firme y nivelada, levantar dos macizos de ladrillo de al menos 30 cm de largo, un ladrillo de soga de ancho y cuatro hiladas de alto como máximo. Calzar su cara exterior con piedras pesadas o tierra apisonada, para que su pie no pueda deslizar ni volcar hacia fuera.

Hacer la cimbra. Trazar el semicírculo a tamaño real con el cordel fijado en el centro. Cortar en tablas dos cerchas con esa curva, descontando el grosor de los listones, y clavar los listones de través. Apoyar la cimbra en puntales con un par de cuñas bajo cada uno, a la altura de la cara superior de los estribos.

Colocar el anillo. Poner cada ladrillo de canto, con su longitud atravesando el arco: el anillo tiene así unos 10 cm de canto y un ladrillo de espesor. Empezar por los dos salmeres y subir por cada lado alternando, para cargar la cimbra por igual. Comprobar con el cordel que cada junta apunta al centro y dejar que las juntas de mortero tomen la forma de cuña, más gruesas por fuera. Colocar la clave al final, con un empuje firme y sin golpes fuertes.

Esperar y descimbrar. Proteger la obra fresca del sol, la lluvia y la helada, y mantenerla húmeda según indique el fabricante del mortero. Dejar la cimbra al menos una semana, más con frío o humedad: retirar el apoyo demasiado pronto es una causa frecuente de hundimiento. Después aflojar las cuñas unos milímetros cada vez, alternando los lados. Si la clave baja o se abre una junta, parar, volver a acuñar la cimbra bajo el anillo y averiguar la causa antes de intentarlo de nuevo.

Probar antes con una maqueta. Colgar una cadena fina delante de una tabla vertical y calcar su curva. Serrar de un listón pequeños tacos ligeramente en cuña, con las juntas perpendiculares a la línea, y montarlos sobre un cartón cortado con la misma curva, con un tope en cada pie. Retirar el cartón: si los tacos están bien cortados, el arco se sostiene sin cola.

> **Seguridad.** Levantar ladrillos y piedras pegados al cuerpo, con las rodillas flexionadas, y cargar entre dos las piezas pesadas. Usar guantes y gafas. Evitar cortar ladrillo o piedra, cuyo polvo contiene sílice; si hay que hacerlo, cortar al aire libre con sierra al agua o con cincel y llevar una mascarilla FFP3 bien ajustada. El mortero de cal es cáustico: proteger piel y ojos y aclarar enseguida las salpicaduras. No colocarse nunca bajo el arco ni meter el brazo durante el descimbrado; trabajar desde un lado con un palo largo y mantener a todos apartados. Cualquier arco mayor o más alto, o destinado a soportar un muro, un paso o personas, requiere un proyecto revisado por un albañil o un ingeniero.

Historia y evolución

Los arcos verdaderos aparecen en Mesopotamia y Egipto en el IV milenio a. C., de adobe y sobre todo en desagües y tumbas. Desde la I dinastía, hacia el 3000 a. C., los egipcios levantaban bóvedas sin cimbra colocando los ladrillos en roscas inclinadas apoyadas contra un muro de fondo, un método que aún se usa en Nubia. En Tel Dan, en el norte de Israel, sigue en pie una de las puertas en arco más antiguas que se conocen, de adobe y anterior a hacia 1700 a. C., con el arco conservado.

La aproximación de hiladas siguió en uso: el llamado Tesoro de Atreo, en Micenas, una tumba de la Edad del Bronce final, tiene una cúpula de hiladas voladas de 14,5 m de diámetro. Los romanos fueron los primeros en levantar arcos exentos, en puentes, en arcadas de acueductos como el puente del Gard y en bóvedas y cúpulas de hormigón como la del Panteón, de 43,3 m de luz.

El arco apuntado, ya habitual en la arquitectura islámica, llegó a Europa occidental en la segunda mitad del siglo XI; con la misma luz empuja hacia fuera menos que un arco de medio punto. El coro de Saint-Denis, cerca de París (1140-1144), reunió arcos apuntados, bóvedas de crucería y contrafuertes exteriores. Hacia 1160 los constructores de la Isla de Francia añadieron arbotantes, medios arcos que llevan el empuje de la bóveda alta por encima de

las naves laterales hasta estribos exteriores. Al llevarse el empuje hacia fuera, los muros entre las pilas pudieron adelgazarse y llenarse de vidrieras. En Beauvais la bóveda del coro alcanzó unos 48 m; una parte se hundió en 1284.

Un arbotante: medio arco lleva el empuje de la bóveda por encima de la nave lateral hasta una pila exterior.

Cifras clave

Primeros arcos verdaderos
Mesopotamia y Egipto, IV milenio a. C., en adobe

Una de las primeras puertas en arco en pie
Tel Dan, adobe, construida antes de hacia 1700 a. C.

Arco de medio punto más delgado, en teoría
Unas 0,107 veces su radio, con juntas radiales y solo con su propio peso

Bóveda del coro de Beauvais
Unos 48 m de altura; una parte se hundió en 1284

Fuentes

1. The Origins of the Voussoir Arch (A. Hrychuk Kontokosta, in The Roman Arch, 2025) · Oxford University Press https://academic.oup.com/book/61689/chapter/540990895
2. Mud-Brick (V. L. Emery, UCLA Encyclopedia of Egyptology, 2011) · University of California, Los Angeles https://journalpub.escholarship.org/nelc_uee/article/4007/galley/2583/download
3. The Remarkable Discoveries at Tel Dan (J. C. H. Laughlin, Biblical Archaeology Review 7:5, 1981) · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/the-remarkable-discoveries-at-tel-dan/
4. Brick Brief: Arches · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/brick-brief-arches-may-2012.pdf
5. The effect of stereotomy on the shape of the thrust-line and the minimum thickness of masonry arches (N. Makris and H. Alexakis, 2013) · Archive of Applied Mechanics, Aston University https://research.aston.ac.uk/en/publications/the-effect-of-stereotomy-on-the-shape-of-the-thrust-line-and-the-
6. Arches, vaults and buttresses (S. Huerta, seminar, 2015) · University of Pisa, School of Engineering https://docenti.ing.unipi.it/scuola_dottorato_ingegneria/Seminari2015/2015-Huerta-Seminario1.pdf
7. The stone skeleton (J. Heyman, International Journal of Solids and Structures 2, 1966, pp. 249-279) · Elsevier https://doi.org/10.1016/0020-7683(66)90018-7
8. As hangs the flexible line: equilibrium of masonry arches (P. Block, M. DeJong and J. Ochsendorf, Nexus Network Journal 8:2, 2006) · Springer https://doi.org/10.1007/s00004-006-0015-9
9. Maths in a minute: St Paul's dome · Plus Magazine, University of Cambridge https://plus.maths.org/content/maths-minute-st-pauls-dome
10. Hanging models · Stereotomy Semantic Classification, University of Porto https://ssc.arq.up.pt/semantic-classification/hanging-models/
11. Compound brick vaults by slices in written sources (R. Marín-Sánchez et al., 2021) · Universitat Politècnica de València https://riunet.upv.es/bitstreams/f756ca9a-0877-4029-9a69-dd09bc7f3735/download
12. Treasury of Atreus · J. Siegel, Hampden-Sydney College https://blogs.hsc.edu/drjclassics/?p=379
13. Arch · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Arch
14. Centering (masonry) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Centering_(masonry)
15. Flying buttress · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_buttress
16. Beauvais Cathedral · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Beauvais_Cathedral

Datos verificados el 2026-10-14

Cerveza

El azúcar del grano hecho alcohol

h. 3500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cerámica (p. 23), Pan (p. 27)

1 Cebada malteada 2 Cuba de maceración 3 Caldera de cocción 4 Enfriadera 5 Cuba de fermentación 6 Barriles

La cerveza se obtiene convirtiendo en azúcar el almidón de un grano germinado y dejando que la levadura fermente ese azúcar en alcohol. Las huellas químicas de cerveza de cebada se remontan al IV milenio a. C. en el oeste de Irán, y la elaboración de cerveza siguió a la agricultura casi en todas partes donde se cultivaban cereales.

Qué es

La cerveza es una bebida fermentada hecha con cereal, casi siempre cebada, agua, levadura y por lo general lúpulo. La levadura no puede alimentarse de almidón, así que primero se maltea y se macera el grano para convertir su almidón en azúcares que la levadura fermenta en alcohol y dióxido de carbono.

La lámina muestra una pequeña fábrica de cerveza como las de Europa antes de la máquina de vapor, con los recipientes en el orden del trabajo: malta, cuba de maceración, caldera, enfriadera, cuba de fermentación y barriles.

Cómo funciona

Primero se maltea la cebada: se pone en remojo y se deja germinar varios días. Al empezar a crecer, la semilla produce enzimas que más tarde descompondrán su propia reserva de almidón. El maltero seca luego el grano en un horno para detener la germinación; el calor fija además el color y el sabor de la malta, de la más pálida a la tostada.

En la maceración, la malta molida se deja en agua caliente. Entre unos 62 y 68 °C, las amilasas de la malta cortan el almidón en azúcares, sobre todo maltosa, en alrededor de una hora. Una maceración más fría deja más azúcar fermentable y una cerveza más seca; una más caliente deja más azúcar no fermentable y más cuerpo. El líquido dulce, el mosto, se escurre a través de las cáscaras, que hacen de filtro.

El malteado: el grano que germina fabrica las enzimas que necesita la cervecería, y el secado lo detiene antes de que gaste su almidón.

Después el mosto hierve una hora o más. La ebullición mata la mayoría de los microbios que llegaron con el grano, detiene las enzimas y elimina aromas indeseados. El lúpulo añadido en esta fase aporta compuestos amargos que también frenan muchas bacterias de alteración; el que se añade al final conserva más aroma.

Por último se enfría el mosto y se le añade la levadura. En unos días, esta transforma el azúcar en etanol y dióxido de carbono, junto con ésteres y otros compuestos que dan el sabor. La levadura de alta fermentación trabaja en caliente y sube a la superficie; la de baja fermentación, la de la lager, trabaja en frío y se deposita en el fondo. Un periodo de guarda deja luego que la cerveza se aclare y madure.

Cómo hacerla

En una cocina se pueden elaborar unos 10 litros con el método de la bolsa (brew in a bag). Hacen falta 2,5 kg de malta pálida molida, unos 25 g de lúpulo, un sobre de levadura de alta fermentación, una olla de 20 litros, una bolsa grande de malla, un termómetro, un fermentador con airlock, un densímetro, un desinfectante sin aclarado y botellas con chapas nuevas.

Macerar. Caliente 14 litros de agua a unos 70 °C, meta la bolsa en la olla y vierta la malta removiendo. La mezcla debe estabilizarse cerca de 66 °C. Apague el fuego, tape la olla y envuélvala en una manta durante una hora, bien lejos del quemador. Quite la manta, saque la bolsa y déjela escurrir.

Hervir. Lleve el mosto a ebullición fuerte durante 60 minutos. Añada la mayor parte del lúpulo al principio para el amargor y el resto en los últimos diez minutos para el aroma. Vigile la olla cuando empiece a hervir, porque la espuma sube muy deprisa. Mientras tanto, limpie y desinfecte el fermentador y todo lo que vaya a tocar el mosto frío; un serpentín de inmersión limpio se desinfecta metiéndolo en el mosto hirviendo durante los últimos 15 minutos.

Enfriar y fermentar. Enfríe la olla tapada hasta unos 20 °C con el serpentín o en un fregadero con agua fría. Pase el mosto al fermentador, añada la levadura, coloque el airlock y manténgalo entre 18 y 20 °C.

Embotellar. La fermentación suele durar de una a dos semanas. Embotelle solo cuando el densímetro marque lo mismo tres días seguidos y ese valor esté cerca de la densidad final esperada, unos 1,010 a 1,015 para esta receta: un valor estable pero más alto indica una fermentación detenida, no acabada. Disuelva de 5 a 6 g de azúcar por litro en un poco de agua hervida, mézclelo con suavidad en la cerveza, llene y chape las botellas y déjelas dos semanas a temperatura ambiente antes de enfriarlas.

Seguridad. Una olla de mosto hirviendo puede causar quemaduras graves: póngala sobre un fuego estable, levántela entre dos personas o no la levante, y mantenga lejos a niños y animales. En interiores use solo una placa o cocina pensada para ello; los quemadores vendidos para exterior se usan fuera. Demasiado azúcar de cebado, o embotellar antes de que acabe la fermentación, puede hacer estallar las botellas: use botellas de cerveza de verdad, pese el azúcar y póngase gafas de protección para manipular un lote que parezca demasiado gasificado. No intente nunca destilar la cerveza. Respete la ley local sobre elaboración casera y sobre el alcohol.

Historia y evolución

En Mesopotamia se compartía una tinaja y se sorbía la cerveza con largas cañas que llegaban por debajo de las cáscaras flotantes.

Unos residuos en morteros de piedra de la cueva de Raqefet, en Israel, de unos 13 000 años, se han interpretado como restos de un brebaje parecido a unas gachas, preparado por cazadores-recolectores natufienses para banquetes funerarios; esa lectura se discute. Una huella química temprana y muy citada procede de Godin Tepe, en el oeste de Irán, donde las ranuras de una jarra de finales del IV milenio a. C. contienen oxalato de calcio, la «piedra de cerveza» que la cerveza de cebada deja en los recipientes. El oxalato de calcio no es exclusivo de la cerveza, así que también esta lectura se ha puesto en duda.

Las tablillas mesopotámicas mencionan la cerveza miles de veces, pero no dan ninguna receta. Lo más parecido es el Himno a Ninkasi, diosa de la cerveza, puesto por escrito hacia el 1800 a. C., que habla de poner la malta en remojo, extender la masa sobre esteras de caña y llenar las cubas. En Egipto la cerveza era un alimento básico, y en Abidos se ha excavado una gran fábrica de cerveza de hacia el 3000 a. C.

En la Edad Media, los cerveceros europeos aromatizaban la cerveza con gruit, una mezcla de hierbas. El abad Adalardo de Corbie mencionó el lúpulo para la cerveza en el año 822, y la cerveza lupulada, que se conservaba mejor, se impuso despacio en los siglos siguientes. El 23 de abril de 1516, en Ingolstadt, los duques de Baviera dispusieron que la cerveza solo llevara cebada, lúpulo y agua. La levadura no figuraba porque aún no se entendía su papel en la fermentación; Louis Pasteur demostró en la década de 1850 que esta es obra de células vivas. En el laboratorio Carlsberg de Copenhague, Emil Christian Hansen descubrió que las levaduras salvajes mezcladas con la de cervecería causaban la «enfermedad de la cerveza». Obtuvo un cultivo puro a partir de una sola célula buena, usado por primera vez a escala real en noviembre de 1883, y la lager se volvió mucho más fiable. Carlsberg regaló la levadura a otros cerveceros.

Las glándulas amarillas de lupulina, dentro del cono de lúpulo, guardan las resinas amargas y el aroma.

Cifras clave

Huella química temprana de cerveza de cebada (discutida)
Godin Tepe, Irán, finales del IV milenio a. C.

Temperatura habitual de maceración
Unos 62 a 68 °C, donde las enzimas de la malta degradan mejor el almidón

Ley bávara de pureza
23 de abril de 1516, Ingolstadt: solo cebada, lúpulo y agua

Primera levadura de cultivo puro en producción
Carlsberg, Copenhague, noviembre de 1883

Fuentes

1. Five things I learned about Sumerian beer · University of Chicago Magazine https://mag.uchicago.edu/arts-humanities/five-things-i-learned-about-sumerian-beer
2. Purifying yeast · Carlsberg Group https://www.carlsberggroup.com/pursuit-of-better/scientific-discoveries/purifying-yeast/
3. 500 Jahre Reinheitsgebot: Deutsches Bier, was darf rein und was ist drin · Stiftung Warentest https://www.test.de/500-Jahre-Reinheitsgebot-Deutsches-Bier-was-darf-rein-und-was-ist-drin-4991639-0/
4. The brewing process · Cornell Brewing Program, Cornell University https://blogs.cornell.edu/brewing/?p=116
5. History of beer · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_beer
6. Mashing · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Mashing

Datos verificados el 2026-10-12

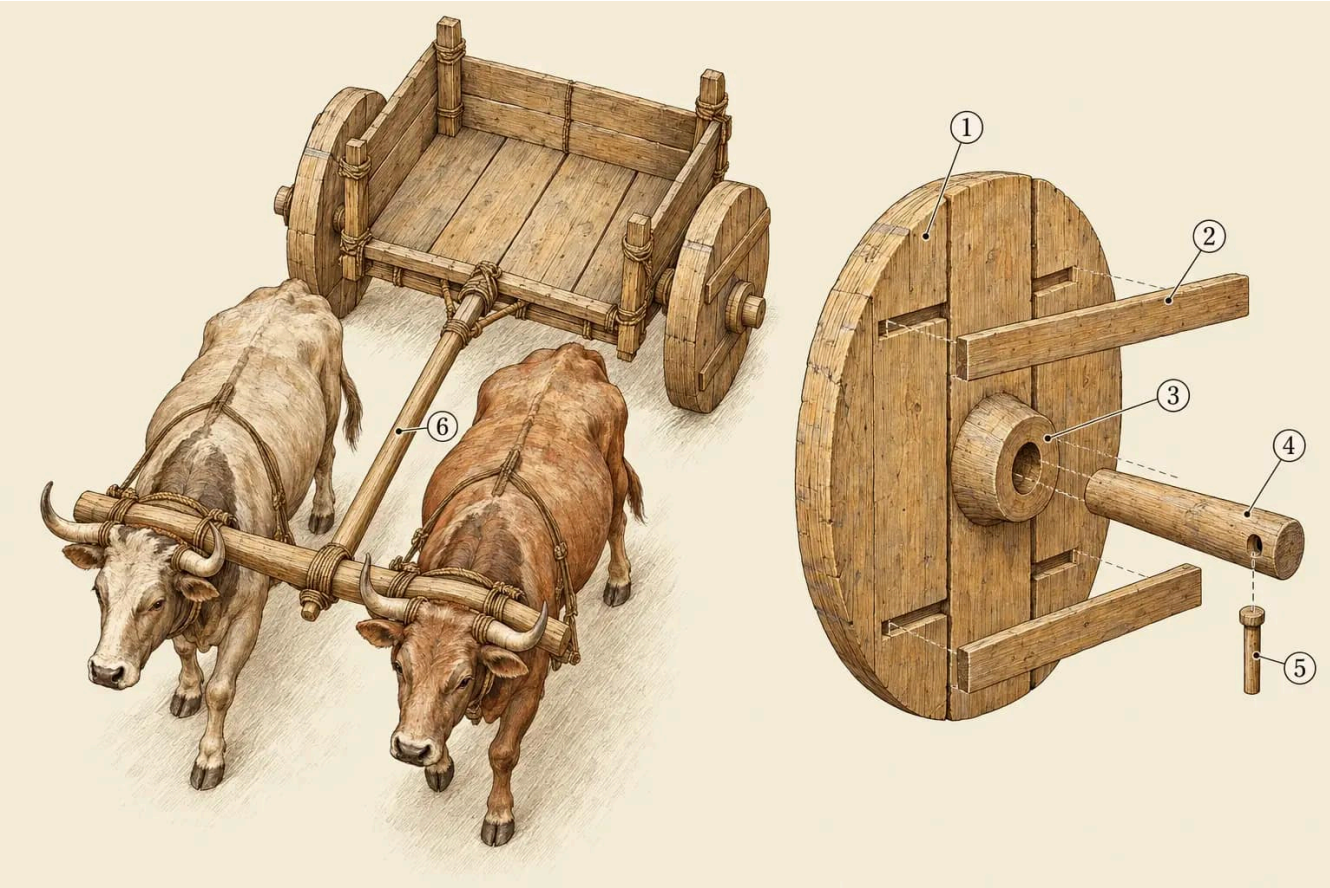
Rueda y eje

Rodar en lugar de arrastrar

h. 3500 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5)

Conduce a: Bicicleta (p. 252), Grúa y polea (p. 149), Rueca (p. 189), Locomotora de vapor (p. 243), Rueda hidráulica (p. 157)



1 Tablones del disco 2 Travesaño 3 Cubo (buje) 4 Eje 5 Pezonera 6 Lanza

Una rueda que gira sobre un eje permite que la carga ruede en vez de arrastrarse por el suelo, y el roce pasa a un pequeño cojinete engrasado. Los carros con ruedas aparecieron en Mesopotamia y en Europa hacia el 3500 a. C., y la misma idea movió después tornos, molinos y ruedas hidráulicas.

Qué es

Una rueda con eje es un disco fijado a un árbol o que gira sobre él. Bajo un carro, transporta una carga. En un torno de pozo o en un cabrestante, multiplica la fuerza.

Los rodillos bajo un trineo hay que devolverlos una y otra vez a la parte delantera; la rueda se queda bajo la carga. Lo difícil, que llevó mucho tiempo, fue hacerla girar con suavidad en torno a un eje fijo.

La lámina reconstruye una rueda maciza primitiva de tres tablones, un tipo hallado en muchas excavaciones de Europa y el Próximo Oriente, bajo un carro de bueyes de hacia el 3000 a. C.

Cómo funciona

Un trineo arrastrado carga todo su peso sobre los patines y roza contra cada irregularidad. Sobre ruedas, el roce se concentra en un punto pequeño, entre el eje y su agujero, mientras el contorno rueda por el suelo.

La ventaja viene de la palanca, porque la superficie del eje está mucho más cerca del centro que el borde de la rueda. En una rueda de 70 centímetros de diámetro sobre un eje de 7 de grueso, el borde tiene diez veces más palanca, así que para vencer el rozamiento del eje basta tirar con una décima parte de su valor. El contorno sigue teniendo que rodar por el suelo, lo que añade su propia resistencia en caminos blandos o desiguales. La grasa, normalmente sebo o alquitrán, reduce aún más el rozamiento del eje.

Sobre rodillos la carga avanza con facilidad, pero cada rodillo que queda atrás hay que llevarlo otra vez hacia delante.

Un eje muy delgado se rompe y uno muy grueso añade rozamiento. El agujero debe ser redondo y liso, y el eje, ajustar sin agarrotarse. En algunos de los primeros carros, las ruedas se encajaban en los extremos escuadrados del eje y giraban con él, mientras la parte central, redondeada, giraba en unos soportes bajo la caja. Después predominó el eje fijo, con las ruedas girando en sus extremos, sujetas con pezoneras.

Cómo construirlo

Una rueda maciza para un carrito de mano ligero puede hacerse con herramientas manuales. Los pasos siguientes son un esquema, sin planos acotados; un carro para cargas pesadas o animales de tiro exige la experiencia de un carretero.

Elegir la madera. Conviene una madera dura, tenaz y bien curada, como roble, fresno u olmo. Hacen falta tres tablones de unos 5 centímetros de grueso, el central más ancho que los laterales.

Cortar el disco. Se colocan los tablones canto con canto y se traza un círculo con una cuerda y una estaca. Se abren dos ranuras a contrahílo y se meten en ellas travesaños de madera dura que traban los tablones, unidos además con espigas. Después se sierra el contorno.

Hacer el cubo. Para que la rueda no cabecee, el centro necesita más grosor: se fija en cada cara un bloque torneado, el cubo, con clavijas de madera dura encoladas que atraviesan todo el disco. Se taladra el agujero del eje en perpendicular al disco y se alisa con una escofina o con una barra de hierro calentada.

Labrar el eje. Se desbasta una pieza recta de madera dura sin nudos. Los extremos se adelgazan para que entren con algo de holgura, y cada punta se atraviesa con un orificio para la pezonera, justo más allá de donde quedarán el cubo y la arandela. El eje se atornilla bajo la plataforma del carro con tacos de madera o abrazaderas de hierro.

Montar y probar. Se engrasan los extremos, se introducen las ruedas, se añaden arandelas y se clavan las pezoneras a fondo. Cada rueda debe girar libre y centrada, sin bambolearse. El carro se carga poco a poco, revisando las juntas después de cada prueba.

> **Seguridad.** Azuelas, hachas y barrenas causan cortes profundos: las dos manos deben quedar detrás del filo. Un carro cargado en pendiente puede escaparse y aplastar a quien esté delante, así que se prueba en terreno llano y se calzan las ruedas al parar. Si el agujero del eje se abre quemando con hierro candente, hay que tener agua a mano.

Historia y evolución

Entre el 3600 y el 3300 a. C., aproximadamente, aparecen indicios de la rueda en un área muy extensa. Unas tablillas de arcilla de Uruk, en Mesopotamia, usan un signo para el carro. Una vasija de Bronocice, en el sur de Polonia, lleva grabado lo que parece un carro de cuatro ruedas. Otros hallazgos vienen del norte del Cáucaso y de las estepas al norte del mar Negro. Los arqueólogos siguen discutiendo dónde nació la idea.

Una rueda de carro de guerra de la Edad del Bronce: seis radios y un aro de pinas curvadas, mucho más ligera que un disco macizo.

La rueda más antigua conservada se encontró en 2002 en las marismas de Liubliana, en Eslovenia. Mide unos 70 centímetros de diámetro, tiene tablones de fresno unidos con travesaños de roble, y el radiocarbono la sitúa entre el 3350 y el 3100 a. C., aproximadamente. Su eje de roble, de unos 1,2 metros, tiene los extremos cuadrados, que encajaban en la rueda.

Según el antropólogo David Anthony, la rueda llegó tarde por falta de herramientas. Para labrar agujeros redondos y ejes rectos hacían falta formones y gubias de cobre fundido, que no se generalizaron en el Próximo Oriente hasta después del 4000 a. C.

Las ruedas macizas eran robustas pero pesadas, y convenían a los lentos carros de bueyes. Hacia el 2000 a. C., la cultura de Sintashta, al este de los Urales, construyó ruedas ligeras de radios y las montó en carros de guerra de dos ruedas tirados por caballos. Las ruedas de radios y los carros de guerra llegaron a Egipto, Grecia y China en los siglos siguientes.

Colocación de la llanta: el aro de hierro se pone en caliente y, al enfriarse, se contrae y aprieta la rueda.

En el I milenio a. C., los carreteros celtas empezaron a ceñir las pinas con una sola llanta de hierro, colocada en caliente para que al contraerse apretara las juntas, un método que se usó hasta el siglo XX.

El siglo XIX trajo las ruedas de radios de alambre tensados, lo bastante ligeras para la bicicleta, y después los neumáticos de caucho llenos de aire. Un eje ferroviario sigue funcionando igual: la carga descansa sobre un pequeño cojinete lubricado mientras la rueda avanza por el carril.

Cifras clave

Rueda más antigua conservada
Marismas de Liubliana, Eslovenia, h. 3150 a. C.

Primeras imágenes de carros
h. 3500–3350 a. C. (tablillas de Uruk, vasija de Bronocice)

Rueda de radios
h. 2000 a. C., estepas al este de los Urales

Rozamiento del eje en el borde de la rueda
Se reduce en la razón entre el diámetro de la rueda y el del eje

Fuentes

1. Wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Wheel
2. World's oldest wheel found in Slovenia · Government Communication Office of Slovenia https://slovenia.si/art-and-cultural-heritage/worlds-oldest-wheel-found-in-slovenia
3. Replica of the oldest wooden wheel with an axle · City Museum of Ljubljana (MGML) https://mgml.si/en/city-museum/news/667/replica-of-the-oldest-wooden-wheel-with-an-axle-for-the-winner-of-the-26th-tour-of-slovenia/
4. Why It Took So Long to Invent the Wheel · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/why-it-took-so-long-to-inv/
5. Sennacherib's Quarry, 705–681 BCE · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/sennacherib-s_quarry-_705-681_bce/
6. Old Civilization: Layard's Nineveh (1853) · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/old-civilizationlayards-nineveh/
7. Estimating Wagon Draft (TechGuide 2G-213) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingWagonDraftTechGuide.pdf
8. Friction and Friction Coefficients for various Materials · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
9. Densities of Solids · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d_1265.html

Datos verificados el 2026-10-11

Escritura

El saber que sobrevive a la memoria

h. 3300 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cerámica (p. 23), Herramientas de piedra (p. 5)

Conduce a: Numeración posicional (p. 97), Imprenta (p. 204), Telégrafo eléctrico (p. 285)

1 Fichas de arcilla para contar 2 Envoltorio de arcilla roto, con fichas dentro 3 Tablilla arcaica: números, cebada y una jarra
4 Cálamo de caña cortada 5 Paleta de escriba con tinta negra y roja 6 Rollo de papiro

La escritura fija la lengua con marcas visibles que otra persona puede leer más tarde, lejos o mucho después de la muerte de quien escribió. Surgió varias veces de forma independiente; entre sus testimonios más antiguos están unas tablillas del sur de Mesopotamia de hacia el 3300 a. C., en las que los contables de los templos imprimían y trazaban signos mientras la arcilla seguía húmeda.

Qué es

La escritura es un conjunto de marcas visibles, acordadas dentro de una comunidad, que representan las palabras o los sonidos de una lengua. Un lector que nunca conoció al autor puede recuperar el mensaje, incluso siglos después.

Se llevaban cuentas mucho antes de escribir. En el Próximo Oriente aparecen hacia el 8000 a. C. pequeñas fichas de arcilla con forma de cono, esfera o disco. La arqueóloga Denise Schmandt-Besserat las interpreta como piezas para contar cantidades de grano, aceite o ganado; otros, como Lucy Bennison-Chapman, sostienen que muchas

tenían otros usos. Hacia el 3500 a. C., los contables encerraban las fichas en bolas huecas de arcilla y estampaban sus formas por fuera. Así se registraban cantidades, pero no un nombre ni una frase.

Una escritura puede anotar palabras enteras, sílabas o sonidos sueltos, y muchas combinan estos principios.

Cada forma de ficha designaba probablemente un tipo de mercancía. Selladas en un envoltorio de arcilla, las fichas podían dejar constancia de una deuda hasta que se pagaba.

Cómo funciona

Dos ideas convirtieron la cuenta en escritura. La primera dio signos distintos a la cantidad y a la mercancía. En las tablillas más antiguas de Uruk, los números se imprimen con el extremo redondo de un cálamo y los bienes se dibujan al lado con una punta: cinco marcas y una espiga de cebada para cinco medidas de cebada. El valor de un signo numérico dependía aún de lo que se contaba, con sistemas distintos para el grano, el ganado o la tierra.

La segunda fue el principio del rebus: usar un signo por cómo suena. En sumerio, «flecha» y «vida» sonaban igual, así que el signo de la flecha servía también para escribir «vida», una palabra difícil de dibujar. Los signos fonéticos aparecen en Mesopotamia hacia el 3000 a. C.

Según el ángulo, la esquina de una caña cortada deja cuñas verticales, horizontales u oblicuas.

Trazar curvas en arcilla húmeda la levanta en rebordes, de modo que los escribas pasaron a hundir la arista de una caña cortada. Cada presión dejaba una cuña, y a lo largo del III milenio a. C. los dibujos se convirtieron en grupos de cuñas; de ahí el nombre de cuneiforme, del latín *cuneus*.

Los escribas egipcios mordisqueaban la punta de un tallo de junco hasta abrirla en pincel y la frotaban sobre pastillas de tinta negra o roja encajadas en una paleta de madera. Escribían sobre papiro, tiras de médula de la planta colocadas en dos capas cruzadas, prensadas y secas. Más tarde, los alfabetos usaron signos para sonidos sueltos, de modo que unas pocas decenas bastan para escribir cualquier palabra.

Cómo construirlo

Hace falta arcilla fina, agua, una caña seca o una vara de jardín del grosor de un lápiz, un cuchillo y un paño húmedo.

Preparar la arcilla. La arcilla de alfarero sirve tal cual. La de una orilla de río debe ponerse en remojo, colarse por un paño para quitar la arena gruesa y dejarse endurecer hasta que conserve la huella del pulgar sin pegarse. Amásela bien para eliminar las burbujas de aire.

Dar forma a la tablilla. Aplaste una bola del tamaño de un huevo pequeño hasta formar un cojín de unos 2 cm de grosor, que quepa en una mano.

Cortar el cálamo. Sierre unos 15 cm de caña. Cerca de un extremo, rebaje los lados con el cuchillo hasta que la punta tenga sección cuadrada, con caras planas y aristas vivas, y córtela recta: una esquina hundida en la arcilla deja una cuña. Corte el otro extremo a través de un nudo, para que el tabique macizo cierre el tubo, y redondéelo; también sirve un palito de madera redondo. Hundido en vertical deja un círculo, e inclinado una muesca en forma de D, las dos formas de los primeros números.

Escribir. Divida la cara en casillas con el canto largo del cálamo y ponga una entrada en cada una. Imprima el número con el extremo redondo y levántelo sin arrastrar. Después dibuje el signo de lo contado con una esquina del extremo cuadrado, como los primeros escribas, o compóngalo con cuñas impresas, como sus sucesores.

Secar. Deje la tablilla varios días a la sombra y dele la vuelta una vez para que no se agriete. La arcilla seca se ablanda de nuevo con agua; cocerla en un horno, como la cerámica, la vuelve duradera.

Probar el alfabeto. Diga diez palabras en voz alta y anote los sonidos que oye, sin pensar en las letras con que se escriben. Dé a cada sonido un signo sencillo, con el viejo truco: dibuje algo cuyo nombre empiece por ese sonido. Si ninguna palabra empieza por un sonido, invéntele un signo. Añada un signo cada vez que una palabra traiga un sonido nuevo: la mayoría de los alfabetos tienen entre veinte y cuarenta y tantas letras.

> **Seguridad.** Al recortar la caña, corte siempre en dirección contraria al cuerpo. No lije ni barra la arcilla seca: su polvo contiene sílice fina que daña los pulmones; limpie con un paño húmedo. Cueza las tablillas solo en un horno de cerámica y nunca una pieza aún húmeda, que puede estallar.

Historia y evolución

Las tablillas más antiguas proceden del nivel Uruk IV del barrio de los templos de Uruk, fechado en general hacia 3350–3200 a. C., y según algunos autores hacia 3200–3100. Se conocen más de 6000 tablillas y fragmentos protocuneiformes de Uruk y otros yacimientos, sobre todo cuentas. El cuneiforme duró más de tres mil años.

En Egipto, unas etiquetas de hueso y marfil de la tumba U-j de Abidos, fechadas hacia el 3200 a. C., ya llevan jeroglíficos, algunos con valor fonético. Los especialistas aún discuten si Egipto tomó la idea de Mesopotamia. La escritura china aparece en los huesos oraculares Shang de Anyang hacia el 1200 a. C., ya madura. En Mesoamérica se escribía en Oaxaca hacia el 400 a. C., y los glifos mayas pintados de San Bartolo datan de 300–200 a. C. No se conoce ningún contacto entre estas regiones y el Próximo Oriente en esas fechas: son invenciones independientes.

En China, el escriba frotaba una barra de tinta sobre una piedra mojada y escribía con un pincel de pelo terminado en punta.

El alfabeto nació de los jeroglíficos. Unas cuarenta inscripciones breves de las minas de turquesa de Serabit el-Jadim, en el Sinaí, y dos de Wadi el-Hol, en Egipto, emplean solo de 27 a 29 signos. Sus autores hablaban una lengua semítica y daban a cada imagen egipcia el primer sonido de su nombre en su propio idioma: la casa, *beth*, pasó a ser b; el agua, *mem*, pasó a ser m. Las fechas propuestas van del 1850 al 1550 a. C. aproximadamente. Hacia 1200–1050 a. C., los fenicios escribían 22 letras consonantes de derecha a izquierda. Los griegos las adoptaron hacia el 800 a. C. y añadieron vocales, y los etruscos transmitieron el alfabeto a Roma en el siglo VII a. C.

El papel, fabricado en China desde el siglo II a. C., se convirtió más tarde en el soporte habitual de la escritura y de los libros impresos.

Cifras clave

Tablillas más antiguas
Uruk, sur de Irak, hacia 3350–3200 a. C. (3200–3100 según algunos autores)

Primer corpus
Más de 6000 tablillas y fragmentos protocuneiformes, en su mayoría cuentas

Invenciones independientes
Mesopotamia, China y Mesoamérica; Egipto probablemente, aunque se discute

Primer alfabeto
De 27 a 29 signos, Sinaí y Egipto, entre 1850 y 1550 a. C. aproximadamente

Alfabeto fenicio
22 letras consonantes, hacia 1200–1050 a. C.

Fuentes

1. The state of decipherment of proto-Elamite (Englund, 2004) · Cuneiform Digital Library Initiative https://cdli.earth/files-up/publications/englund2004c.pdf
2. Seals and signs: tracing the origins of writing in ancient South-west Asia (Kelley, Cartolano & Ferrara, 2024) · Antiquity, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/seals-and-signs-tracing-the-origins-of-writing-in-ancient-southwest-asia/B3C2D400F3F80A7A0162D9035C9C2804
3. The Evolution of Writing (Schmandt-Besserat, 2014) · Denise Schmandt-Besserat, University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/tokens/the-evolution-of-writing/
4. Reconsidering 'Tokens': The Neolithic Origins of Accounting or Multifunctional, Utilitarian Tools? (Bennison-Chapman, 2019) · Cambridge Archaeological Journal, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-archaeological-journal/article/abs/reconsidering-tokens-the-neolithic-origins-of-accounting-or-multifunctional-utilitarian-tools/7E6C04CB040AD8AA0EA84B94D4D275C4
5. Visible Language: Inventions of Writing in the Ancient Middle East and Beyond (Woods, ed., 2010) · Institute for the Study of Ancient Cultures, University of Chicago https://isac.uchicago.edu/sites/default/files/uploads/shared/docs/oimp32.pdf
6. Early Egyptian Writing (1999) · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9903/newsbriefs/egypt.html
7. Oracle bone (50-31) · Nelson-Atkins Museum of Art https://art.nelson-atkins.org/objects/23289/oracle-bone
8. Evidence of Earliest Maya Writing (report on Saturno, Stuart & Beltrán, Science, 2006) · Mesoweb https://www.mesoweb.org/reports/SanBartoloWriting.html
9. Proto-Sinaitic: Progenitor of the Alphabet (Simons, 2011) · Rosetta 9, University of Birmingham https://rosetta.bham.ac.uk/wp-content/uploads/2024/02/Simons_Proto-Sinaitic_Rosetta9.pdf
10. The alphabet · Deutsche Nationalbibliothek, German Museum of Books and Writing https://mediengeschichte.dnb.de/DBSMZBN/Content/EN/SoundsSymbolsScript/01-alphabet-en.html
11. Papyrus · Centre for the Study of Manuscript Cultures, Universität Hamburg https://www.csmc.uni-hamburg.de/profiling-guide/materials/writing-surfaces/papyrus.html
12. Scribal Palette · Institute of Egyptian Art and Archaeology, University of Memphis https://memphis.edu/egypt/exhibit/palette.php
13. The Cuneiform Stylus (on Cammarosano, Mesopotamia 49, 2014) · Book and Sword https://www.bookandsword.com/2022/12/10/the-cuneiform-stylus/
14. What the Earliest Texts Say About the Invention of Writing · Discover Magazine https://www.discovermagazine.com/what-the-earliest-texts-say-about-the-invention-of-writing-692

Datos verificados el 2026-10-14

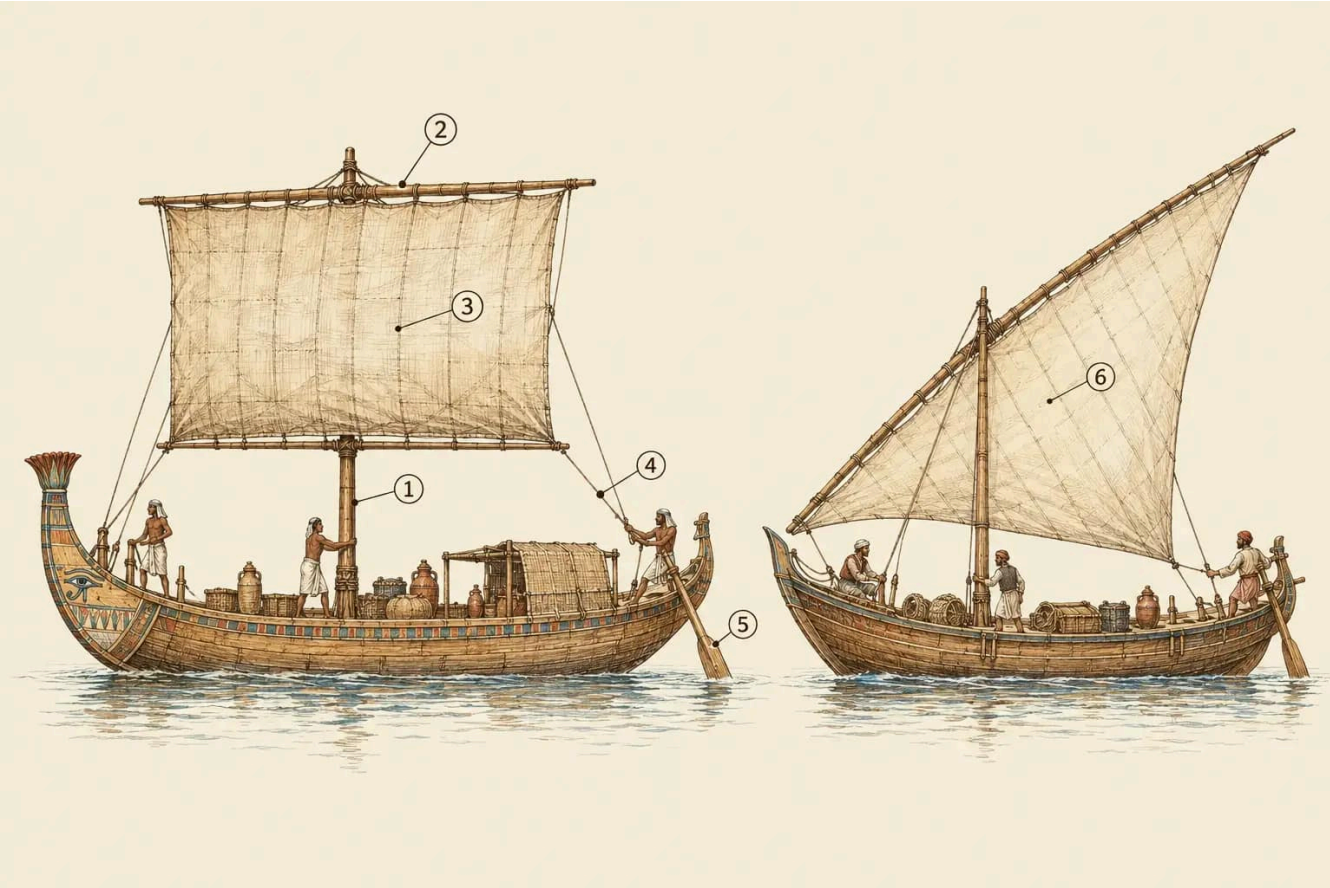
Vela

Atrapar el viento para avanzar

h. 3200 a. C. · Prehistoria · Asentamiento

Requiere: Cuerda y cordaje (p. 13), Tejido en telar (p. 44)

Conduce a: Navegación astronómica (p. 209)



1 Mástil 2 Verga 3 Vela cuadra 4 Escota 5 Remo de gobierno 6 Vela latina

Una vela es una lámina de tela o de estera izada en un mástil para recoger el viento y mover una embarcación. Bien orientada, empuja el barco con el viento por popa o de costado y, avanzando en zigzag, incluso hacia el lugar de donde sopla el viento.

Qué es

Una vela es una superficie que se despliega al viento para impulsar una embarcación. Las primeras fueron probablemente esteras o pieles sostenidas en un palo; más tarde se tejieron de lino, lana o algodón, y hoy sobre todo de fibras sintéticas. Colgada de un mástil y ajustada con cabos, una vela mueve un barco sin combustible y sin remeros.

La lámina muestra velas cuadras y velas de cuchillo. La vela cuadra cuelga de una percha horizontal, la verga, atravesada respecto al barco, y funciona mejor con el viento por popa. Una vela de cuchillo se dispone a lo largo del barco. La latina es una vela triangular suspendida de una verga larga e inclinada y funciona bien con viento de través.

Cómo funciona

Con el viento por popa, el principio es sencillo: el aire empuja la vela como empujaría una mano abierta. En este rumbo, un barco no puede ir más rápido que el viento, porque cuanto más deprisa avanza, más débil es el viento que recibe.

Con viento de costado, la vela funciona como un ala. Curvada y colocada con un ángulo pequeño respecto al viento, desvía el flujo de aire, y el aire empuja a su vez la vela, sobre todo de lado y en parte hacia delante. El casco, y la quilla si la tiene, se resisten a deslizarse de lado porque el agua los empuja en sentido contrario, y lo que queda es un empuje hacia delante. Por eso un barco puede navegar más rápido con el viento de través que con el viento justo por popa.

Ninguna vela puede llevar un barco directamente contra el viento. Un velero moderno es capaz de mantener un rumbo de unos 40 a 45 grados respecto al viento. Para llegar a un punto situado a barlovento, avanza en zigzag y cruza la dirección del viento en cada viraje. Los marinos llaman a esto bordear.

La tripulación ajusta la vela con cabos. La escota (4) cobra o larga un puño inferior de la vela para fijar su ángulo respecto al viento. La driza iza la verga (2) a lo largo del mástil (1). En un barco de aparejo de cruz, las brazas hacen girar la verga. Con viento fuerte, la tripulación reduce la superficie de la vela, lo que se llama rizar. El remo de gobierno (5), y más tarde el timón, mantiene el rumbo.

Cómo se construye

Este esquema describe la confección de una pequeña vela cuadra. No es un plano acotado ni un proyecto para añadir una vela a cualquier barco. Usar un aparejo diseñado para la embarcación concreta y revisado por un constructor naval cualificado o un instructor de vela que compruebe el equilibrio entre casco, vela y gobierno, la estabilidad y la resistencia de las fijaciones.

Reunir los materiales. Usar la lona, el hilo, la relinga, la verga y los herrajes indicados en el plano revisado. También hacen falta una aguja de velero y un rempujo. El apoyo del mástil y sus fijaciones deben ajustarse a ese plano.

El rempujo permite a la mano empujar una aguja gruesa a través de varias capas de tela.

Cortar y unir los paños. Colocar las tiras de lona una junto a otra. Hacer los solapes y las puntadas que indique el plano para las cargas previstas.

Dobladillar y relingar los bordes. Doblar y coser los dobladillos según el plano y después coser la relinga. La tela y las costuras transmiten las cargas del viento; el cabo refuerza los bordes. Reforzar los puños e instalar los anillos u ollaos previstos.

Aparejarla. Seguir el plano revisado para fijar la vela a la verga e instalar la driza y las escotas. Comprobar que la verga se puede arriar y que los cabos corren libremente.

Practicar antes de navegar. Pedir a un instructor que demuestre cómo arriar la vela y reducir su empuje con este aparejo, y practicar bajo su supervisión antes de salir. Largar las escotas por sí solo puede dejar una vela cuadra recibiendo viento. Hacer la primera prueba en aguas resguardadas, con viento flojo y un instructor a bordo.

> **Seguridad.** Una racha puede volcar una embarcación pequeña en cuestión de segundos. Ponerse un chaleco salvavidas, consultar la previsión del tiempo y navegar primero con viento flojo, cerca de la orilla y con alguien vigilando. No amarrar nunca la escota de forma que no pueda soltarse rápido. Una verga o una botavara que bascula puede golpear la cabeza, y el agua fría agota enseguida a quien nada en ella.

Historia y evolución

Los barcos son mucho más antiguos que las velas: se avanzó con pagaya, con pértiga y a remo mucho antes de aprovechar el viento. No se sabe con certeza cuándo apareció la vela, porque la tela y las esteras rara vez se conservan. En Kuwait, los restos de barcos de caña recubiertos de betún, capaces de navegar por mar, datan de entre 5500 y 5000 a. C. Robert Carter los estudia como pruebas de intercambios marítimos tempranos; los restos de barcos por sí solos no demuestran el uso de velas.

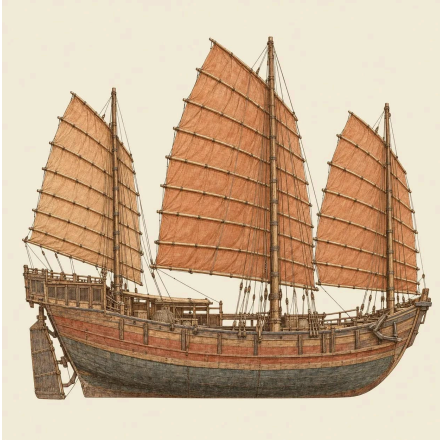
La vela de pinza de cangrejo, tendida entre dos perchas, impulsó las canoas austronesias a través del Pacífico.

Hay representaciones posibles en Egipto hacia 3200 a. C. Una vasija pintada del periodo Nagada II, conservada en el Museo Británico, muestra un barco con un objeto sobre un palo. R. L. Bowen lo interpretó como una vela; la otra lectura es un estandarte. La fecha del catálogo, hacia 3200 a. C., corresponde a este posible indicio y no a una fecha conocida de invención. En el Nilo, la corriente llevaba los barcos hacia el norte y el viento podía devolverlos hacia el sur.

Los barcos egipcios, fenicios, griegos y romanos usaron velas cuadras, al igual que los posteriores barcos vikingos, cuyas velas se tejían a menudo con lana. En el Pacífico y el océano Índico, los navegantes austronesios desarrollaron sus propios aparejos. Las palabras para «vela» en sus lenguas se remontan a unos cinco mil años, y la vela de pinza de cangrejo llevó sus canoas con balancín a lo largo de miles de kilómetros de mar abierto.

La vela latina aparece en el Mediterráneo ya en el siglo II d. C. y se generaliza a partir del V. Era más barata de fabricar y mantener que la cuadra, aunque no claramente más rápida. Las imágenes antiguas de barcos chinos muestran velas cuadras. China pudo adoptar la vela de junco reforzada con sables de bambú hacia el siglo XII; esto no demuestra una sustitución general de las velas cuadras.

A partir del siglo XV, los constructores navales europeos emplearon aparejos mixtos de velas cuadras y latinas en carracas y algunas carabelas. Estas tradiciones contribuyeron a los aparejos de los veleros oceánicos posteriores. El vapor se impuso en la navegación comercial durante los siglos XIX y XX. Las velas sobreviven en yates y barcos de regata, y hoy se cortan en tejidos sintéticos.



Los sables de bambú mantienen la vela del junco plana y rígida.

Cifras clave

Primeras representaciones posibles
Egipto, hacia 3200 a. C.

Rumbo más cerrado al viento
Unos 40–45° en un velero moderno

Vela latina
En el Mediterráneo ya en el siglo II d. C.

Vela de junco con sables
Posiblemente adoptada en China hacia el siglo XII d. C.

Fuentes

1. Sail · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sail
2. Junk (ship) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Junk_(ship)
3. Boat remains and maritime trade in the Persian Gulf during the sixth and fifth millennia BC (R. Carter, 2006) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/boat-remains-and-maritime-trade-in-the-persian-gulf-during-the-sixth-and-fifth-millennia-bc/98224B03E778DE5C9D3EAA806A5ABCF8
4. Egypt's Earliest Sailing Ships (R. L. Bowen, 1960) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/egypts-earliest-sailing-ships/28F7218895B44D2DC9BF36AECD5B3F79
5. The physics of sailing (J. Wolfe) · School of Physics, UNSW Sydney https://newt.phys.unsw.edu.au/~jw/sailing.html
6. The Ship’s Sail · The Viking Ship Museum https://www.vikingeskibsmuseet.dk/en/professions/education/all-about-the-viking-ship/the-ships-sail
7. Seam · UK Sailmakers https://www.uksailmakers.com/encyclopedia/glossary/seam/
8. Carrack (Não) · The Mariners’ Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/watercraft/carrack-nao/
9. Hypothetical Reconstruction of an Ancient Egyptian Sea-going Vessel from the Reign of Hatshepsut, 1500 BCE (P. Couser, C. Ward and T. Vosmer, 2009) · RINA Historic Ships conference https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Navires/Min%20of%20the%20Desert/Min-Couser2012.pdf
10. Drag Equation · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-equation/

Datos verificados el 2026-10-12

Jabón

Grasa y ceniza contra los gérmenes

h. 2800 a. C. · Antigüedad · Asentamiento

Requiere: Dominio del fuego (p. 9), Cerámica (p. 23)

Conduce a: Higiene y antisepsia (p. 298)

1 Tonel de ceniza para la lejía 2 Vasija que recoge la lejía 3 Sebo 4 Caldero de jabón sobre el fuego 5 Molde y pastillas cortadas

El jabón se obtiene hirviendo o mezclando grasa con un álcali fuerte, que la descompone en glicerina y en sales de ácidos grasos capaces de arrastrar la grasa y la suciedad al agua. Las recetas de limpiadores parecidos al jabón se remontan a la Mesopotamia del III milenio a. C.; el álcali industrial barato lo convirtió en un producto corriente en el siglo XIX.

Qué es

El jabón es un producto de limpieza hecho con grasas o aceites y un álcali. Cada molécula de jabón tiene un extremo que se une al agua y una larga cola que se une a la grasa, así que puede llevarse la grasa, la suciedad y muchos microbios de la piel al agua del aclarado. El jabón hecho con hidróxido de sodio cuaja en pastillas duras; los jabones de potasio quedan blandos o líquidos. La lejía que se sacaba de la ceniza de leña contenía carbonato de potasio, no un hidróxido moderno, y daba un jabón blando.

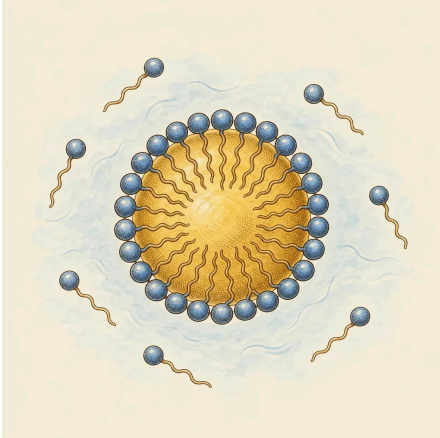
La lámina muestra la fabricación de jabón tal como se hacía en las granjas de Europa y Norteamérica hasta el siglo XIX: agua que atraviesa la ceniza de leña para hacer lejía, una vasija que la recoge, sebo derretido, un caldero que

hierve sobre el fuego y un molde con pastillas cortadas secándose.

Cómo funciona

Las grasas y los aceites son triglicéridos: tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina. Un álcali fuerte rompe esas uniones. Cada ácido graso toma el sodio o el potasio del álcali y se convierte en una molécula de jabón, y la glicerina queda libre. Los químicos llaman a esta reacción saponificación.

En el agua, las moléculas de jabón se agrupan en esferas diminutas, las micelas, con las colas grasas dentro y las cabezas afines al agua fuera. Una gota de grasa queda atrapada en el centro y se va con ellas al aclarar. Esas mismas colas pueden meterse en la envoltura grasa de algunas bacterias y virus, entre ellos los coronavirus, y romperla. Por eso lavarse con agua y jabón elimina muchos más gérmenes que el agua sola, aunque los microbios con una cubierta más dura resisten mejor.



Una micela: las colas grasas del jabón sujetan la grasa por dentro y sus cabezas afines al agua dejan que el aclarado se la lleve.

En la granja, el álcali salía de la ceniza. El agua que se echaba sobre un tonel de ceniza de madera dura disolvía sales de potasio, sobre todo carbonato de potasio, y salía convertida en una lejía parda. Hervida de seis a ocho horas con sebo, daba un jabón blando y gelatinoso que se guardaba en un barril y se sacaba con un cucharón. Si al final de la cocción se añadía sal común, subía un jabón más firme en forma de torta que podía cortarse en pastillas, pero la sal era cara y muchas familias campesinas prescindían de ella. El jabón duro de sosa necesitaba sosa, que se sacaba de las cenizas de algas y plantas costeras hasta que Nicolas Leblanc encontró la manera de fabricarla a partir de la sal.

Cómo hacerlo

Hoy se hacen pequeñas cantidades de jabón por el proceso en frío, con hidróxido de sodio vendido para jabonería y una calculadora de saponificación. El hidróxido de sodio es corrosivo y puede dejar ciego en segundos: es un trabajo solo para adultos, en una habitación tranquila y despejada.

Reunir el equipo. Hacen falta gafas de protección, guantes resistentes a productos químicos y manga larga, una báscula digital que mida al gramo, recipientes de acero inoxidable o de polipropileno vendidos como resistentes a la sosa caliente (nunca de aluminio, que reacciona con ella), una batidora de mano, un termómetro, un molde de silicona o forrado y aceite de oliva puro o una mezcla de aceites probada.

Calcular. Introduzca el peso exacto de cada aceite en una calculadora de saponificación con un sobreengrasado de alrededor del 5 %. Para 500 g de aceite de oliva da unos 64 g de hidróxido de sodio y unos 170 g de agua. Compruebe el resultado dos veces: demasiado álcali da un jabón que quema la piel.

Preparar la disolución de sosa. Al aire libre o junto a una ventana abierta, pese primero el agua y después vierta despacio el hidróxido de sodio en el agua removiendo, nunca el agua sobre la sosa. La disolución se calienta deprisa y desprende vapores un momento: no los respire. Déjela enfriar hasta unos 40 °C.

Mezclar y verter. Temple el aceite a una temperatura parecida, añada la disolución de sosa y bata a golpes cortos hasta que la mezcla espese como unas natillas ligeras. Viértala en el molde, tápela y déjela uno o dos días.

Curar. Desmolde al cabo de uno o dos días y corte las pastillas. Una receta bien calculada ya ha terminado de reaccionar; de cuatro a seis semanas de curado de canto en un lugar seco y aireado, más si es jabón de aceite de

oliva puro, dejan que el agua se evapore para que las pastillas endurezcan y duren. El curado no arregla un jabón con demasiada sosa: si una pastilla curada todavía pica en la piel, tire toda la tanda.

> **Seguridad.** Lleve siempre gafas y guantes al manipular la sosa o el jabón fresco, y mantenga a niños y animales fuera de la habitación. Si la sosa toca la piel, aclare enseguida con mucha agua corriente; si llega a los ojos, aclare con agua corriente al menos 30 minutos mientras alguien llama a emergencias. Etiquete cada recipiente, guarde el hidróxido de sodio bajo llave en su envase original y no vuelva a usar para alimentos ningún utensilio que haya contenido sosa. Manipule el jabón fresco con guantes durante los primeros días.

Historia y evolución

Antes de que el jabón fuera corriente, la jabonera se machacaba en agua para obtener una espuma suave con que lavar la lana y el lino.

Los limpiadores parecidos al jabón son antiguos, pero las primeras pruebas son escasas. Se suele citar fuentes babilonias de hacia el 2800 a. C. como la primera mención, y relatos posteriores describen recetas mesopotámicas del III milenio a. C. que calentaban aceite con ceniza de leña para lavar la lana, aunque rara vez se identifican las tablillas. El papiro egipcio Ebers, hacia el 1550 a. C., receta grasas animales o aceites vegetales mezclados con una sal alcalina como remedio.

Los autores romanos veían el jabón como un producto extranjero. Plinio el Viejo, en el siglo I d. C., lo atribuyó a los galos, que lo hacían con sebo y ceniza y lo usaban para teñirse el pelo; en su obra aparece por primera vez la palabra latina sapo. Un siglo después, el médico Galeno describió el jabón de lejía de ceniza y aconsejó lavarse con él.

Los jabones duros de aceite de oliva vinieron del Mediterráneo oriental. El médico persa al-Razi anotó recetas de jabón hacia el año 900, y en el siglo XIII la jabonería era un gran comercio en las ciudades de Siria y Palestina. En Europa, los talleres de Castilla y de Marsella producían jabón de aceite de oliva en grandes cantidades en el siglo XV, mientras los jaboneros del norte hervían sebo con lejía de ceniza.

El jabón de Alepo, de aceite de oliva y de laurel, se corta en cubos y se apila en torres aireadas para curarse durante meses.

El jabón solo se abarató cuando se abarató su álcali. En 1791 Nicolas Leblanc patentó un procedimiento que sacaba sosa de la sal, el ácido sulfúrico, el carbón y la caliza, de modo que los jaboneros dejaron de depender de las cenizas vegetales. En 1823 Michel-Eugène Chevreul demostró que las grasas son compuestos de glicerina y ácidos grasos, lo que explicaba lo que ocurre en el caldero. Fábricas como la de Lever Brothers, fundada en 1885 en Warrington, vendieron el jabón en pastillas envueltas y con marca. La higiene llegó despacio: en 1847 Ignác Semmelweis obligó al personal de su maternidad de Viena a desinfectarse las manos con cloruro de cal, y la mortalidad por fiebre puerperal bajó allí de cerca del 18 % a cerca del 1 % al año siguiente.

Cifras clave

Primera mención de un material parecido al jabón
Babilonia, hacia 2800 a. C.

La reacción
Grasa + álcali → jabón + glicerina (saponificación)

Química explicada
Michel-Eugène Chevreul, 1823

Sosa a partir de sal común
Procedimiento de Nicolas Leblanc, 1791

Fuentes

1. Why soap works · Yale School of Medicine https://medicine.yale.edu/news-article/why-soap-works
2. Soap making (Dallas Bogan, History of Campbell County, Tennessee) · TNGenWeb https://www.tngenweb.org/campbell/hist-bogan/SoapMaking.html
3. Nicolas Leblanc (1742-1806) · European Route of Industrial Heritage https://www.erih.net/how-it-started/stories-about-people-biographies/biography/leblanc
4. Chevreul et la chimie des corps gras · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/chevreul-et-la-chimie-des-corps-gras/
5. Lever Brothers Limited · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp42536
6. Pioneering hand hygiene: Ignaz Semmelweis and the fight against puerperal fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
7. Codex Standard for Named Animal Fats (CODEX-STAN 211-1999) · FAO/WHO Codex Alimentarius https://www.fao.org/4/y2774e/y2774e05.htm
8. Saponification value of fats and oils as determined from 1H-NMR data: the case of dairy fats (Foods, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9140812/
9. Soap · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Soap

Datos verificados el 2026-10-12

Numeración posicional

Cifras que valen según su lugar

h. 2050 a. C. · Antigüedad · Asentamiento

Requiere: Escritura (p. 85)

Conduce a: Navegación astronómica (p. 209), Ordenador (p. 365), Termómetro y barómetro (p. 221)

1 Tablero de cálculo: una línea por cada potencia de diez 2 Guijarro que sirve de ficha
3 Tablilla de arcilla: mil como 16 sesentenas y 40, en base sesenta 4 Puntos y barras mayas: 2 y 10, en base veinte
5 Concha del cero maya 6 Mil en cifras indias, las que usamos

En una numeración posicional bastan unas pocas cifras para escribir cualquier número, porque el valor de cada una depende del lugar que ocupa. Con un cero que marca el lugar vacío, sumas, multiplicaciones y divisiones se resuelven por escrito, columna a columna, sin tablero de cálculo.

Qué es

En 707, el primer siete cuenta centenas y el último, unidades. Ahí está toda la numeración posicional: un pequeño juego de signos cuyo valor depende del sitio donde se colocan. Las diez cifras del 0 al 9 bastan para escribir cualquier número entero, por grande que sea.

Los sistemas más antiguos sumaban sus signos. Los escribas egipcios tenían un signo para las unidades, otro para las decenas, otro para las centenas, y repetían cada uno tantas veces como hiciera falta. En números romanos,

1888 se escribe MDCCCLXXXVIII, trece signos. Sirven para anotar un total, pero se calcula mal con ellos, así que los contables romanos y medievales trabajaban sobre un tablero de cálculo y solo escribían el resultado.

La numeración posicional convierte el número escrito en un tablero de cálculo sobre el papel, de modo que la propia cuenta puede anotarse y comprobarse. Lo hace posible el cero, primero marca de un lugar vacío y después número por derecho propio.

Cómo funciona

La base es la cantidad de cifras distintas, y cada lugar vale esa cantidad de veces el lugar situado a su derecha. En base diez, 2748 significa 2 millares, 7 centenas, 4 decenas y 8 unidades. En 1081, el cero indica que no hay centenas; sin él, 1081 y 181 se confundirían.

Un número babilonio se imprimía en la arcilla húmeda, cuña a cuña.

Las demás bases siguen la misma regla. Los escribas babilonios contaban de sesenta en sesenta con dos marcas: la cuña vertical para el uno y la cuña en ángulo para el diez. Mil son 16 sesentenas y 40: se escribía 16 y después 40. Los mayas contaban de veinte en veinte, con un punto para el uno, una barra para el cinco y una concha para el cero, y apilaban los lugares de abajo arriba. Mil son dos veces cuatrocientos, diez veintenas y ninguna unidad: dos puntos sobre dos barras sobre una concha. En las fechas del calendario, el tercer lugar contaba 360 días en vez de 400. Los ordenadores trabajan en base dos, en la que 13 se escribe 1101: un ocho, un cuatro, ningún dos y una unidad.

Cuando una columna llega a diez o más, se escriben sus unidades y se llevan sus decenas a la columna siguiente; cuando no alcanza, se pide prestada una a la izquierda. Correr un número un lugar a la izquierda lo multiplica por diez, así que 47 × 23 es 47 × 3 más 47 × 20: 141 + 940 = 1081. La tabla de multiplicar hasta 9 × 9 basta para multiplicar dos números cualesquiera. La división larga avanza desde la izquierda, un lugar cada vez: se busca una cifra del cociente, se multiplica, se resta y se baja la cifra siguiente.

Cómo construirlo

Hace falta una tabla lisa o un trozo de arena alisada, tiza o un palo, unos cuarenta guijarros, papel y un lápiz.

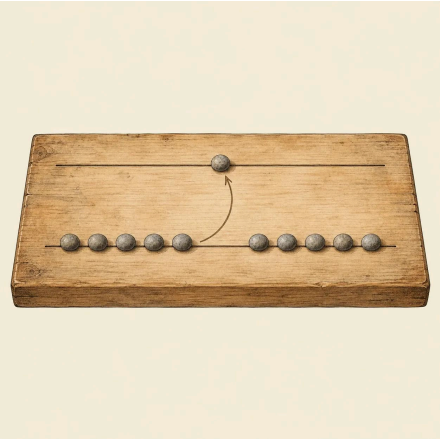
Trazar el tablero. Trace cuatro líneas paralelas separadas por un palmo: desde abajo, unidades, decenas, centenas y millares. Una vez hechas todas las llevadas, ninguna línea tiene más de nueve piedras.

Colocar un número. Para 2748, ponga 2 piedras en la línea de los millares, 7 en las centenas, 4 en las decenas y 8 en las unidades. Una línea vacía es un cero.

Sumar llevando. Sume 1375 poniendo 1, 3, 7 y 5 piedras en las mismas líneas. La línea de las unidades tiene ahora 13: quite diez, ponga una en la de las decenas y quedan 3. La de las decenas tiene entonces 12; vuelva a llevar y haga lo mismo con las centenas. El tablero marca 4123.

Multiplicar. Vacíe el tablero. Para 47 × 23, coloque tres veces 47, llevando sobre la marcha: 141. Coloque luego dos veces más 47, pero cada piedra una línea más arriba de lo normal, lo que suma 940. Lleve y lea 1081.

Pasar al papel. Haga las mismas cuentas en columnas, con la cifra que se lleva escrita en pequeño sobre la columna siguiente. Cada columna es una línea del tablero, cada cifra un número de piedras, cada 0 una línea vacía.



Llevar en el tablero: diez fichas de una línea se cambian por una sola en la línea de arriba.

Cambiar de base. Para escribir 4000 segundos en base sesenta, divida entre 60: 66, resto 40. Divida 66 entre 60: 1, resto 6. Lea el último cociente y después los restos hacia atrás: 1, 6 y 40, es decir, 1 hora, 6 minutos y 40 segundos.

> **Seguridad.** Las piedras pequeñas pueden provocar asfixia en niños pequeños. Elija piedras demasiado grandes para tragarlas o guarde el tablero fuera de su alcance.

Historia y evolución

El uso más antiguo fechado con certeza es una tablilla de borrador de Ur, de 2043 a. C., que suma pesos en base sesenta. Hacia 1800 a. C., las tablillas escolares babilonias lo usan con toda normalidad. No había cero ni marca que separase los enteros de las fracciones, de modo que el lector deducía el orden de magnitud por el contexto. Desde aproximadamente el 700 a. C., algunos escribas ponen un signo en un lugar vacío dentro de un número, nunca al final. Los astrónomos griegos conservaron la base sesenta para las fracciones, y por eso la hora y el grado siguen teniendo sesenta minutos.

Los mayas llegaron por su cuenta al valor posicional y al cero. Las fechas de Cuenta Larga aparecen en el sur de México desde el siglo I a. C., y estelas de Uaxactún fechadas en 357 escriben los lugares vacíos con un signo del cero.

Nuestras cifras vienen de la India. En 628, Brahmagupta definió el cero como un número menos sí mismo y dio reglas para calcular con él, aunque se equivocó al afirmar que cero entre cero es cero. El manuscrito de Bakhshali, hallado cerca de Peshawar en 1881, escribe el cero con un punto; tres de sus hojas, fechadas por radiocarbono en 2017, van del siglo III al X, y la fecha del texto se discute. El cero fechado más antiguo e indiscutido de la India está en Gwalior, en 876.

A finales de la Edad Media, en Europa aún se contaba a menudo con fichas de latón sobre un paño rayado.

En el Bagdad del siglo IX, al-Juarismi escribió un libro sobre el cálculo indio, conservado solo en latín; de su nombre viene la palabra algoritmo. Fibonacci aprendió las cifras en el norte de África y las enseñó en su Liber abaci de 1202. En 1299, el gremio de cambistas de Florencia las prohibió en sus libros de cuentas, y los tableros de cálculo siguieron en uso en el norte de Europa hasta el siglo XVI.

Cifras clave

Valor posicional en base sesenta
Primer uso fechado con certeza en Ur, 2043 a. C.; habitual en las escuelas babilonias hacia 1800 a. C.

El cero tratado como número
Brahmagupta, Brāhmasphuṭasiddhānta, 628 d. C.

Cero fechado más antiguo e indiscutido de la India
Inscripción de Gwalior, 876, en los números 270 y 50

Cero maya
Signos del cero en estelas de Uaxactún fechadas en 357

Liber abaci
Fibonacci, Pisa, 1202

Fuentes

1. Bases, positions and computations (Chemla, 2025) · Philosophical Transactions of the Royal Society B https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12536272/
2. On the Alleged Counting with Sexagesimal Place Value Numbers in Mathematical Cuneiform Texts from the Third Millennium B.C. (Friberg, 2005) · Cuneiform Digital Library Journal https://cdli.earth/articles/cdlj/2005-2
3. A history of Zero · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Zero/
4. Babylonian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Babylonian_numerals/
5. Indian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Indian_numerals/
6. Brahmagupta · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Brahmagupta/
7. Carbon dating finds Bakhshali manuscript contains oldest recorded origins of the symbol 'zero' · Gardens, Libraries and Museums, University of Oxford https://www.glam.ox.ac.uk/node/218481
8. The Bakhshālī Manuscript: A Response to the Bodleian Library's Radiocarbon Dating (Plofker, Keller, Hayashi, Montelle, Wujastyk, 2017) · History of Science in South Asia https://journals.library.ualberta.ca/hssa/index.php/hssa/article/view/22
9. The use of Zero as a placeholder by the Maya (J. G. Atkinson) · Mexicolore https://www.mexicolore.co.uk/maya/home/the-maya-and-zero/1000
10. The Calendar Inscriptions · Archaeology Magazine, Archaeological Institute of America https://archaeology.org/issues/november-december-2012/collection/calendar-inscriptions/
11. Arabic numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Arabic_numerals/
12. Fibonacci · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fibonacci/
13. The mathematician Fibonacci, or how the number 7 came to Europe · Swiss National Museum https://blog.nationalmuseum.ch/en/2020/03/the-mathematician-fibonacci-or-how-the-number-7-came-to-europe/

Datos verificados el 2026-10-14

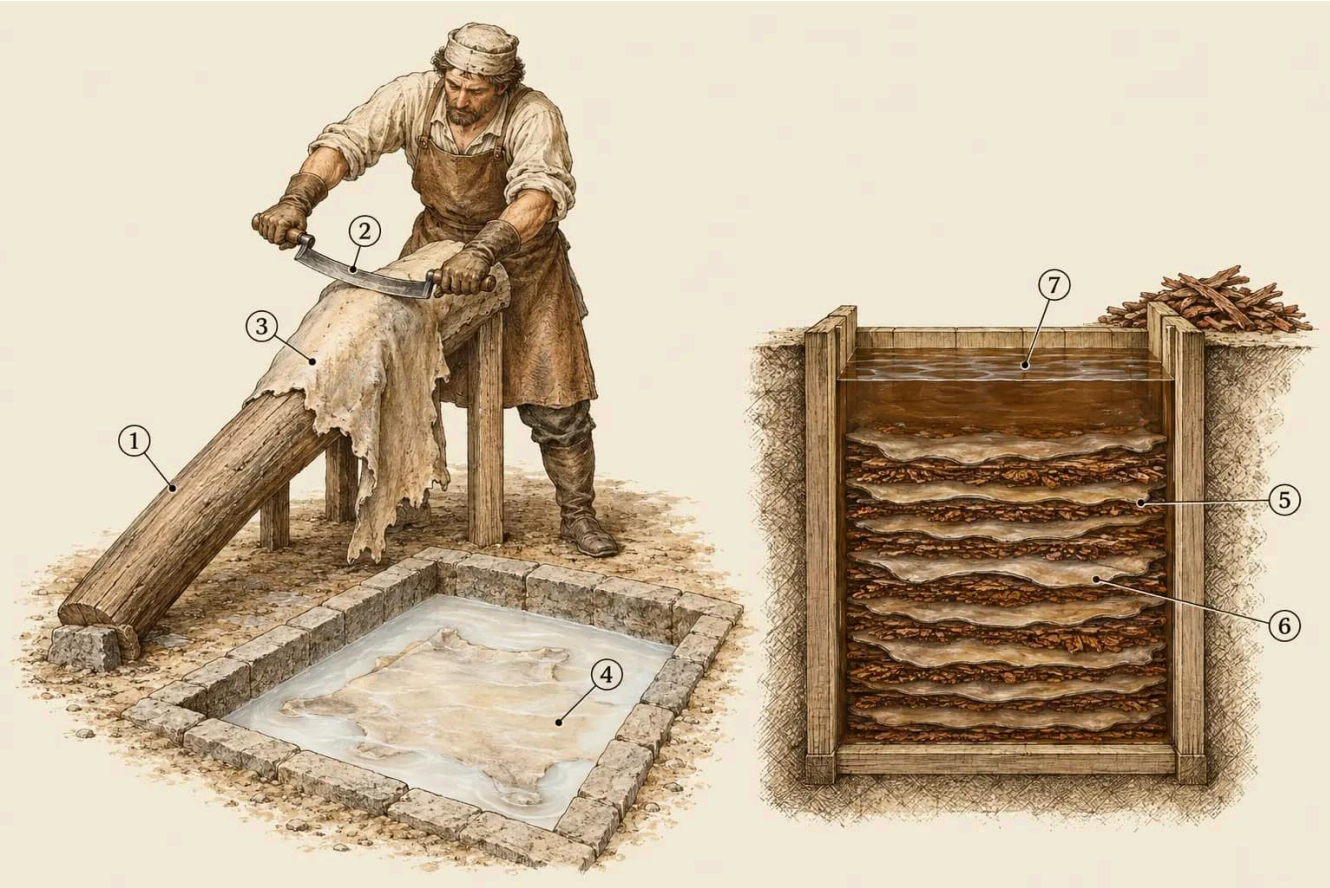
Curtido del cuero

Pieles, corteza de roble y meses en noque

h. 1500 a. C. · Antigüedad · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5), Dominio del fuego (p. 9)

Conduce a: Collera (p. 177), Bomba de pistón (p. 161)



1 Caballete del curtidor 2 Cuchilla de dos mangos 3 Piel en pleno depilado y descarnado 4 Pelambre de cal 5 Capa de corteza de roble molida 6 Piel tendida en el noque 7 Jugo curtiente

El curtido convierte una piel cruda, que se pudre pronto cuando está mojada y se seca dura como la madera, en un cuero flexible que resiste mucho mejor la descomposición. En el método de noques, la piel se limpia de pelo y carne y después pasa meses en agua con corteza de roble molida, cuyos taninos se fijan a las fibras.

Qué es

Una piel fresca es sobre todo agua y colágeno, una proteína tejida en una maraña densa de fibras. Con calor empieza a pudrirse en pocos días. Si antes se seca, se vuelve piel cruda, dura y córnea, que se ablanda en el agua y se pudre si sigue mojada.

El cuero es una piel cuyas fibras se han modificado para que resista ambas cosas. Puede mojarse y secarse con mucho menos riesgo de pudrirse o ponerse rígido, se corta, se cose y se moldea, y guardado en seco dura siglos. Con él se hacían zapatos, arreos, cubos y fuelles. Los cazadores ablandaban las pieles con grasa y humo, más tarde

se usó el alumbre, y hoy casi todo el cuero se curte con sales de cromo. Esta lámina sigue el método que sirvió en Europa y el Mediterráneo durante unos dos mil años: el curtido vegetal con corteza, en noques.

Cuero en sección, ampliado: la flor lisa arriba y el entramado de fibras de colágeno debajo. Al lado, piel cruda con el pelo.

Cómo funciona

Muchas plantas acumulan taninos, compuestos amargos que las defienden de insectos y hongos. La corteza de roble es rica en ellos, igual que la madera de castaño, las hojas de zumaque, las agallas del roble y las vainas de acacia. La corteza molida en remojo da un líquido pardo que los curtidores llamaban jugo curtiente.

En ese jugo, las moléculas de tanino se cuelan entre las fibras de colágeno de una piel limpia y se unen a ellas en muchos puntos. Recubiertas así, las fibras ya no se pegan al secarse y las bacterias las degradan mucho más despacio. La piel se convierte en un cuero firme y pardo.

El tanino entra desde la superficie. Un jugo fuerte desde el principio cerraría las capas exteriores y dejaría el centro crudo. Por eso las pieles empezaban en jugo flojo, ya usado, y pasaban a otros más fuertes a lo largo de semanas y meses.

Antes hay que abrir la piel. El agua de cal o una lejía de ceniza de madera la hincha, afloja las raíces del pelo y elimina parte de la grasa y de las proteínas blandas. Después se pueden raspar el pelo y la capa superior y limpiar el lado de la carne, para que el tanino entre por las dos caras.

Cómo se construye

Esto resume el método tradicional con corteza de las tenerías, aplicado a una sola piel de vaca; no es una receta probada. Cuente casi un año. Necesita la piel de un animal sano y de origen conocido, tinas o barriles estancos, cal apagada o ceniza de madera, mucha corteza de roble seca, un caballete de madera y una cuchilla roma de dos mangos.

Remojar y encalar. Ponga una piel salada en agua limpia uno o dos días hasta que esté flácida, y luego en agua con cal apagada o lejía de ceniza, removiéndola a diario. La piel está lista cuando el pelo se suelta al empujarlo con el pulgar.

Depilar y descarnar. Tienda la piel sobre el caballete inclinado, con el pelo hacia arriba, y empuje la cuchilla roma alejándola de usted para arrancar el pelo. Dele la vuelta y raspe el lado de la carne hasta quitar grasa y membranas. Lave la cal en varias aguas, porque la cal que queda en la piel estropea el curtido; el jugo flojo y algo ácido de la etapa siguiente se lleva el resto.

Preparar la corteza. Descortece robles talados en primavera, seque la corteza, muélala y déjela varios días en remojo.

La corteza de roble se arranca en primavera, cuando la savia la despega de la madera.

Curtir en el noque. Ponga primero la piel en jugo flojo y muévala cada día durante unas semanas. Después colóquela plana o doblada en una tina, entre dos capas de corteza molida, y cúbrala con jugo más fuerte. Las tenerías apilaban así muchas pieles en un mismo noque. Renueve corteza y jugo cada pocos meses. En J & F J Baker, en Devon, la última tenería tradicional de corteza de roble de Gran Bretaña, las pieles pasan tres meses en el jugo y otros nueve apiladas con corteza. Para comprobarlo, corte una lasca de la parte más gruesa: el cuero está curtido cuando el pardo ha atravesado todo el espesor, sin franja pálida en el centro.

Secar y engrasar. Aclare, deje secar despacio a la sombra y haga penetrar aceite o sebo mientras el cuero siga húmedo.

> **Seguridad.** La cal y la lejía de ceniza son cáusticas y pueden quemar la piel y los ojos. Use guantes impermeables, gafas de protección y botas, y emplee cal apagada y no cal viva, que se calienta violentamente con el agua. Aclare enseguida con mucha agua una salpicadura en la piel; si entra cal en un ojo, lávelo sin parar con agua limpia y busque ayuda médica de inmediato. Las pieles crudas pueden llevar esporas de carbunco (ántrax), que entran por los cortes o se respiran con el polvo y causan una enfermedad grave; a simple vista no se sabe si una piel está contaminada. Use solo pieles de animales inspeccionados y de origen conocido, nunca de un animal hallado muerto, cubra los cortes, no sacuda ni golpee las pieles secas y lávese las manos y la ropa después del trabajo. Si cree haber estado expuesto, o si tras trabajar con pieles aparece una llaga, fiebre o dificultad para respirar, vaya al médico de inmediato y diga que manipula pieles. Los baños de cal y los jugos curtientes contaminan: guárdelos en tinas estancas, lejos de pozos, manantiales y arroyos, y no vierta nunca el jugo usado en el suelo, en desagües ni en el agua; llévelo a un punto de recogida adecuado.

Historia y evolución

Las pieles se preparaban mucho antes de curtirse. En muchas regiones, los cazadores frotaban sesos u otras grasas en una piel raspada y luego la ahumaban, para que pudiera mojarse sin endurecerse. Ötzi, que murió en los Alpes hacia el 3300 a. C., llevaba pieles de cabra, oveja, ciervo y ternero, y un zapato de la cueva de Areni-1, en Armenia, fechado en 3627-3377 a. C., parece hecho de cuero de vaca. No se sabe bien cómo se trataron.

Mucho antes de los noques, las pieles se tensaban, se raspaban, se trabajaban con grasa y se ahumaban.

Fechar el curtido vegetal es difícil: solo el análisis químico revela cómo se trató un cuero antiguo, y los especialistas no leen igual los resultados. Carol van Driel-Murray señala que los cueros de la Edad del Bronce se trataban casi siempre con grasa, aceite o humo. Sin embargo, el análisis de cueros egipcios del Metropolitan Museum, publicado en 2017, halló taninos vegetales en objetos del Imperio Medio o Nuevo, entre el 2000 y el 1100 a. C. aproximadamente. El botánico griego Teofrasto escribió sobre plantas curtientes hacia el 300 a. C., y en el noroeste de Europa el cuero curtido llega con la conquista romana. En Pompeya, una curtiduría con quince tinas cilíndricas seguía funcionando cuando la erupción del 79 d. C. la sepultó.

El curtido al alumbre, que emplea una sal mineral en lugar de tanino, daba un cuero pálido y suave, apreciado para guantes, pero el agua arrastra el alumbre y la piel puede volver a secarse dura. El curtido en noques cambió poco hasta finales del siglo XIX, cuando las sales de cromo redujeron el trabajo de meses a días. El curtido al

cromo es un proceso industrial con residuos tóxicos, no un oficio casero. Todavía se hace cuero curtido con corteza para sillas de montar, cinturones y suelas.

Cifras clave

Tiempo en los noques

Unos 12 meses en una tenería inglesa de corteza de roble que sigue activa; de 11 a 18 meses, a veces 2 años, para los cueros gruesos de buey en 1810

Zapato de cuero más antiguo hallado

Cueva de Areni-1, Armenia, 3627-3377 a. C.; no se sabe cómo se trató el cuero

Curtiduría de Pompeya

15 tinas cilíndricas, en uso hasta la erupción del 79 d. C.

Encalado

Unos días para las pieles de buey y de vaca, de dos a tres semanas para las de ternero (práctica descrita en 1810)

Taninos vegetales más antiguos detectados en cuero

Objetos egipcios del Imperio Medio o Nuevo, hacia 2000-1100 a. C. (análisis publicado en 2017)

Fuentes

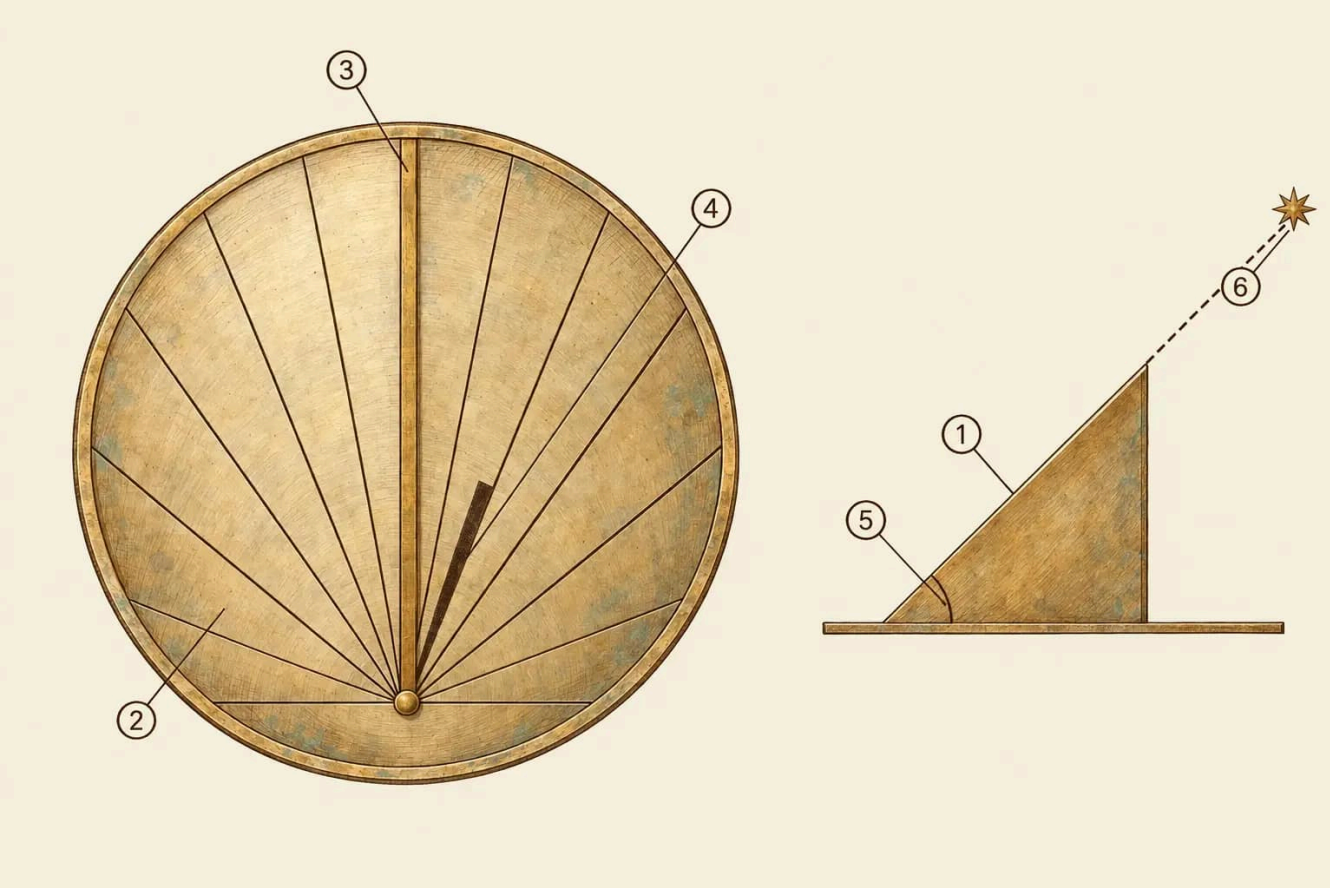
1. Tanning (Encyclopaedia Britannica, 4th edition, 1810) · Encyclopaedia Britannica, transcribed by Jim Clifford, University of Saskatchewan https://jimclifford.ca/early_encyclopedia_britannica/articles/1810/eb_4th_1810_020179.html
2. The Process · J & F J Baker & Co., oak bark tannery, Colyton https://www.jfjbaker.co.uk/the-process
3. Hide Products · Sean Manning, Book and Sword (after C. van Driel-Murray) https://www.bookandsword.com/?p=10459
4. First Direct Evidence of Chalcolithic Footwear from the Near Eastern Highlands (Pinhasi et al., 2010) · PLoS ONE https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010984
5. Evidence of the use of vegetable tannins in leather tanning in the Middle Kingdom/New Kingdom of ancient Egypt (Elnaggar, 2017) · ICOM-CC Leather and Related Materials Working Group Newsletter https://www.icom-cc.org/dlfile.aspx?file=https://www.icom-cc.org/docs/content/ICOMCC-LRM-Newsletter-june-2017.pdf
6. The large tannery of Pompeii: from restoration to valorisation · Archaeological Park of Pompeii https://pompeiisites.org/en/comunicati/the-large-tannery-of-pompeii-from-restoration-to-valorisation-a-positive-example-of-public-and-private-sector-collaboration/
7. Skins & hides: introduction · Lowimpact.org https://www.lowimpact.org/categories/skins-hides
8. Leather terminology: tawing · Popov Leather https://popovleather.com/pages/leather-terminology-tawing
9. Anthrax: people at increased risk (animal products) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/anthrax/animal-products/products.html
10. Hydrated Lime, Safety Data Sheet CASDS06 · Cement Australia https://cementaustralia.com.au/sites/default/files/2025-02/CASDS06_Hydrated_Lime.pdf
11. Clothing of the Iceman · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/clothing/

Datos verificados el 2026-10-13

Reloj de sol

Leer la hora en una sombra

h. 1500 a. C. · Antigüedad · Asentamiento



1 Estilo (la arista que proyecta la sombra) 2 Cuadrante 3 Línea del mediodía 4 Sombra 5 Ángulo igual a la latitud 6 Polo celeste

Un reloj de sol da la hora mediante la sombra que el Sol proyecta sobre una superficie graduada. Los ejemplares más antiguos que se conservan proceden de Egipto, del siglo XV a. C., y hasta que los relojes mecánicos se extendieron a finales de la Edad Media fue el principal medio para dividir el día.

Qué es

Un reloj de sol es un instrumento que indica la hora por la posición de una sombra. Una varilla o una lámina, el gnomon, se alza sobre una superficie con líneas trazadas, y su sombra las recorre a medida que el Sol cruza el cielo.

La lámina muestra un reloj horizontal de jardín calculado para 45° de latitud, visto desde arriba, con su gnomon visto de perfil. La arista inclinada del gnomon, el estilo, apunta al polo celeste, y gracias a eso las horas son iguales durante todo el año.

Cómo funciona

La Tierra gira una vez al día alrededor de un eje que, en el hemisferio norte, apunta casi a la estrella Polar. Visto desde el suelo, el Sol gira alrededor de ese mismo eje a un ritmo constante de 15° por hora. Un estilo paralelo al eje queda, por tanto, en el centro del círculo que el Sol describe cada día, y el plano que pasa por el estilo y el Sol gira a ese mismo ritmo en cualquier estación. En la práctica, el estilo se inclina hacia el norte (hacia el sur en el hemisferio austral) un ángulo igual a la latitud: unos 40,4° en Madrid y 41,4° en Barcelona.

En un reloj horizontal ese plano que gira corta una placa plana: la sombra avanza sobre ella de forma desigual, y las líneas horarias no están a la misma distancia. El ángulo entre la línea del mediodía y la línea de cada hora sigue una regla sencilla: su tangente es igual al seno de la latitud por la tangente de 15° por cada hora transcurrida desde el mediodía. A 45°, las líneas de una a seis horas después del mediodía quedan a unos 11°, 22°, 35°, 51°, 69° y 90°. Se apiñan en torno al mediodía y se separan hacia las seis, que forman ángulo recto con la línea del mediodía.

Un reloj de sol marca la hora solar local, que no coincide con la de un reloj de pulsera. La hora oficial se rige por el meridiano central del huso horario, de modo que un reloj de sol atrasa 4 minutos por cada grado de longitud al oeste de ese meridiano y adelanta lo mismo por cada grado al este. La España peninsular usa la hora de Europa central, cuyo meridiano es el de 15° E, de modo que en Madrid, a 3,7° O, la diferencia supera la hora. Como la órbita terrestre es una elipse y el eje de la Tierra está inclinado, el Sol además adelanta o atrasa hasta unos 16 minutos según la época del año: es la ecuación del tiempo, que a menudo se graba en una tablilla junto al reloj. El horario de verano añade una hora más.

Reloj de sombra egipcio: por la mañana el travesaño miraba al este y a mediodía se daba la vuelta al instrumento.

Cómo construirlo

Hace falta una placa plana de pizarra, piedra, madera dura o metal de unos 30 cm, un triángulo fino de latón o aluminio para el gnomon, un transportador, una regla, un nivel de burbuja y una calculadora. Los pasos siguientes sirven para el hemisferio norte; al sur del ecuador, el centro va cerca del borde norte y el estilo sube hacia el sur.

Trazar las líneas horarias. Busque su latitud en un mapa con una precisión de una décima de grado. Marque el centro del reloj cerca del borde sur de la placa y trace desde él la línea del mediodía hasta el borde opuesto. Para cada hora, calcule el ángulo con la regla anterior y trace la línea a ambos lados de la línea del mediodía: las horas de la mañana al oeste, las de la tarde al este. Trace directamente a 90° las líneas de las seis, donde la regla deja de valer: este reloj sencillo abarca de las seis de la mañana a las seis de la tarde.

Cortar el gnomon. Corte un triángulo rectángulo cuyo ángulo agudo sea igual a su latitud. Fíjelo en vertical sobre la línea del mediodía, con el vértice agudo en el centro del reloj, de forma que la arista inclinada suba hacia el norte. Si la lámina tiene más de dos o tres milímetros de grosor, separe las dos mitades del cuadrante esa misma distancia: las líneas de la mañana parten de una cara y las de la tarde de la otra.

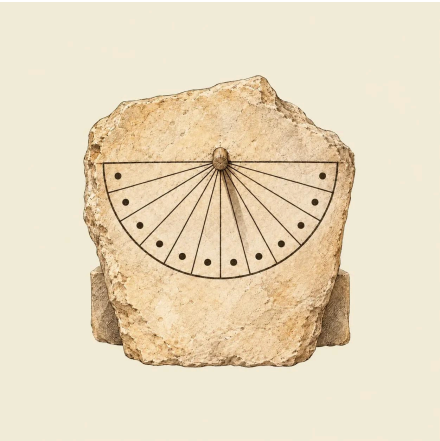
Hallar el norte geográfico. La brújula señala el norte magnético, que puede desviarse varios grados. En un día de sol, clave un palo vertical en suelo llano, marque la punta de su sombra a media mañana y trace una circunferencia que pase por esa marca con centro en el pie del palo. Por la tarde, marque el punto en que la punta de la sombra vuelve a tocar la circunferencia. La recta que une ambas marcas va de este a oeste, y la marca de la mañana queda al oeste. De pie sobre la marca de la mañana y mirando hacia la de la tarde, el norte queda a la

izquierda. El resultado es aproximado, porque el recorrido del Sol cambia un poco a lo largo del día; es más exacto cerca de los solsticios.

Instalarlo. Colóquelo sobre un soporte nivelado, con la línea del mediodía en la dirección norte-sur y el gnomon subiendo hacia el norte.

> **Seguridad.** No mire nunca directamente al Sol, ni siquiera un instante, y jamás a través de prismáticos o de una lente: el daño en los ojos no duele y puede ser permanente. Lime los bordes de un gnomon metálico y coloque el reloj donde nadie pueda caer sobre su lámina.

Historia y evolución



Reloj pintado sobre una lasca de caliza, hallado en 2013 en el Valle de los Reyes y fechado en el siglo XIII a. C.

Los relojes de sol más antiguos que se conservan son relojes de sombra egipcios del reinado de Tutmosis III (hacia 1479 a 1425 a. C.). Son reglas de piedra en forma de L: por la mañana, el travesaño elevado de un extremo miraba al este y proyectaba su sombra sobre marcas a lo largo de la regla; a mediodía se giraba el instrumento hacia el oeste. En 2013, un equipo de la Universidad de Basilea halló otro tipo de reloj en el suelo de una cabaña de obreros del Valle de los Reyes: una lasca plana de caliza con un semicírculo negro dividido en doce sectores y un agujero central para una clavija.

La tradición griega atribuye a Anaximandro de Mileto, hacia el 560 a. C., la introducción del gnomon en Grecia a partir de prácticas babilónicas. Griegos y romanos tallaban relojes hemisféricos, cuencos de piedra cuyas líneas dividían el tiempo de luz en doce partes. Esas horas eran desiguales: una hora de verano duraba más que una de invierno. Plinio el Viejo da dos fechas para el primer reloj de sol público de Roma, el 293 y el 263 a. C. El segundo se trajo de Catania, en Sicilia, durante la primera guerra púnica. Como estaba trazado para Sicilia, en Roma marcaba una hora algo errónea, y aun así sirvió 99 años, hasta que en el 164 a. C. se colocó a su lado otro más preciso.

En el siglo VIII, el monje inglés Beda el Venerable promovió los relojes que marcaban las horas de la oración, y muchas iglesias medievales tenían un sencillo reloj grabado en una piedra de su muro sur. Un estilo paralelo al eje terrestre da horas iguales todo el año. El astrónomo Ibn al-Shatir construyó uno en 1371 para la mezquita de los Omeyas de Damasco, y los relojes de sol europeos aplican el principio al menos desde 1446. Los relojes mecánicos se extendieron por Europa a partir del siglo XIV, pero durante mucho tiempo fueron imprecisos y se ponían en hora con los relojes de sol.

Un reloj de misa: una clavija en el agujero central proyectaba su sombra sobre las líneas.

Cifras clave

Relojes de sol más antiguos conservados

Egipto, reinado de Tutmosis III (hacia 1479 a 1425 a. C.)

Movimiento aparente del Sol

15° por hora alrededor del polo celeste

Inclinación del estilo

Igual a la latitud del lugar (unos 40,4° en Madrid)

Ecuación del tiempo

El Sol adelanta o atrasa hasta unos 16 minutos a lo largo del año

Fuentes

1. Ancient sundials · North American Sundial Society https://sundials.org/index.php/all-things-sundial/ancient-sundials?start=9
2. How sundials work · British Sundial Society https://sundialsoc.org.uk/all-about-sundials/how-sundials-work/
3. Pliny the Elder, Natural History, book 7 (7.212-215 on Rome's first sundials) · Attalus.org (translation) https://www.attalus.org/pliny/hn7c.html
4. Monumental Timekeepers (David Rooney) · Lapham's Quarterly https://www.laphamsquarterly.org/node/11636
5. Sundial · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sundial
6. History of sundials · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_sundials
7. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF
8. The Sundial Primer: Horizontal Sundial (Carl Sabanski) · The Sundial Primer https://mysundial.ca/tsp/horizontal_sundial.html

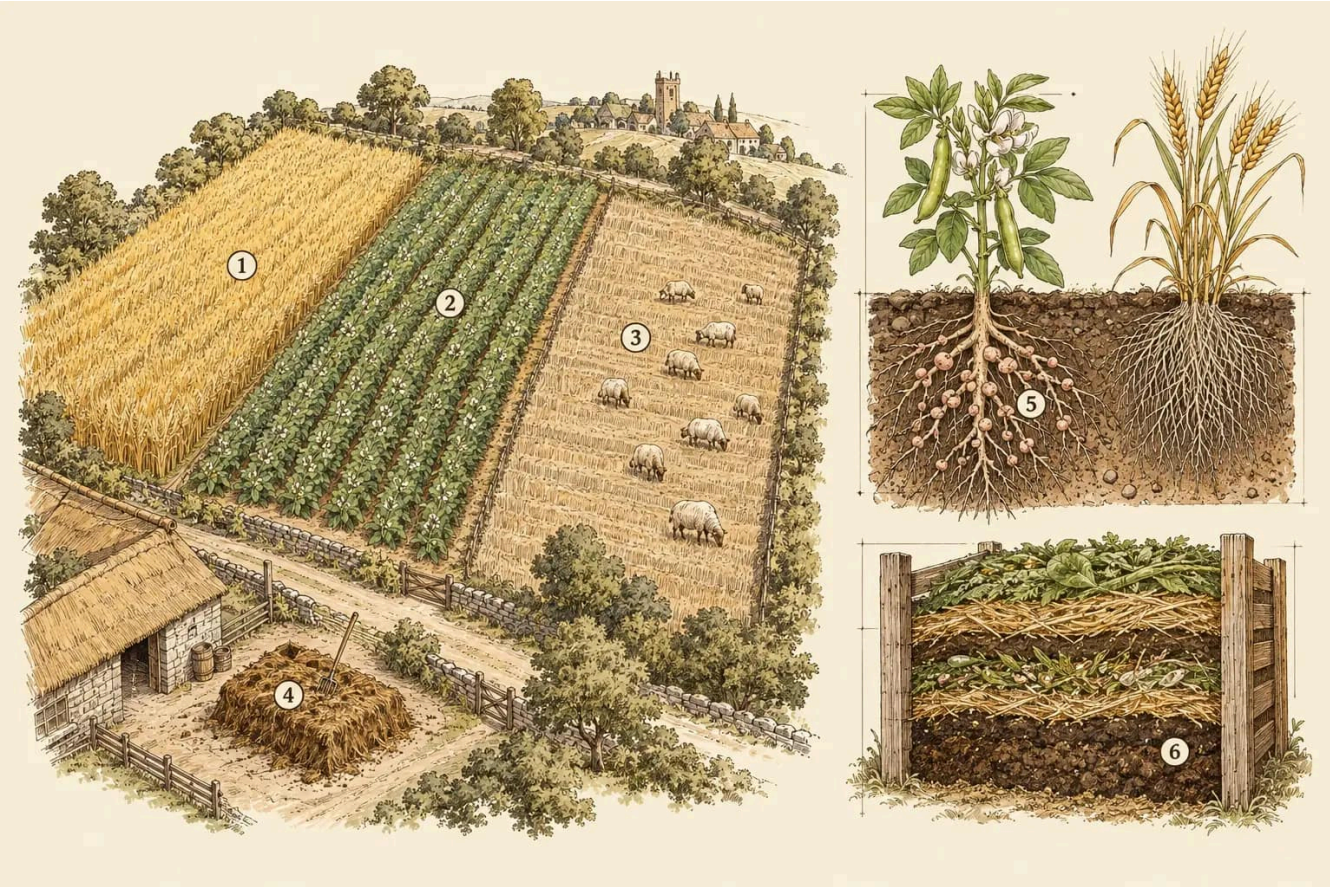
Datos verificados el 2026-10-12

Rotación de cultivos

Mantener la tierra fértil año tras año

h. 700 a. C. · Antigüedad · Asentamiento

Requiere: Arado (p. 61)



1 Trigo de invierno 2 Habas y guisantes 3 Barbecho pastado por ovejas 4 Montón de estiércol 5 Nódulos en la raíz de un haba 6 Capas de un montón de compost

La rotación de cultivos cambia de un año a otro lo que crece en un campo, y se apoya en el barbecho, el estiércol y las leguminosas para devolver a la tierra lo que le quitan las cosechas. Mantiene fértil el suelo y deja sin alimento a las plagas de cada cultivo; en Europa pasó de un año de descanso cada dos a rotaciones sin ningún barbecho.

Qué es

Sembrado cada año con la misma planta, un campo tiende a rendir menos si no se le devuelven los nutrientes. Las raíces sacan los mismos nutrientes del mismo suelo, y las plagas de ese cultivo encuentran a su huésped esperándolas cada primavera. La rotación de cultivos cambia lo que crece en cada parcela de un año a otro, siguiendo un ciclo planeado.

Se combina con el barbecho, una temporada sin cultivo; con el estiércol y el compost, que devuelven al suelo excrementos y restos vegetales; y con las leguminosas, como el haba, el guisante o el trébol, que aportan

nitrógeno tomado del aire. La lámina muestra una granja de tres hojas de cultivo y su estercolero. A la derecha, la raíz de un haba aparece junto a la de un trigo, sobre un montón de compost abierto.

Cómo funciona

Además de agua y aire, las plantas necesitan nutrientes minerales del suelo, tres de ellos en gran cantidad. El nitrógeno forma las proteínas y las hojas; un cereal que carece de él amarillea. El fósforo sirve a las raíces y las semillas. El potasio mantiene el agua en las células y los tallos erguidos. Cada saco de grano que sale de la granja se lleva una parte de los tres.

El nitrógeno es el primero en faltar, aunque el aire es nitrógeno gaseoso en unas cuatro quintas partes: las plantas no pueden usar ese gas. Las leguminosas lo consiguen con ayuda de bacterias del suelo, los rizobios. Estas se instalan en pequeños abultamientos de las raíces, los nódulos, y convierten el nitrógeno del aire en amoníaco; la planta fabrica proteínas con él y, a cambio, alimenta a las bacterias con azúcares. Cuando raíces y tallos se pudren, o se entierra el cultivo en verde, buena parte de ese nitrógeno pasa al cultivo siguiente. Un trébol rojo o blanco bien establecido puede fijar entre 85 y 225 kg de nitrógeno por hectárea al año; un cultivo corto o pobre, mucho menos.

Nódulos en una raíz de guisante. Un nódulo activo es rosado o rojo por dentro.

El fósforo y el potasio no vienen del aire; vuelven con el estiércol, el compost, la orina y las cenizas.

Cambiar de cultivo frena además las enfermedades y plagas propias de una sola familia de plantas: sin su huésped durante unos años, la mayoría retrocede. Algunas duran mucho más. Las esporas de la hernia de la col, que ataca coles y nabos, pueden seguir en el suelo hasta 20 años, y la podredumbre blanca de la cebolla al menos 15, así que en un suelo infectado conviene dejar de cultivar sus huéspedes. El barbecho no aporta nitrógeno, pero permite arar las malas hierbas y sirve de pasto.

Cómo se hace

Herramientas: una pala o un arado, una horca y tablas para un cajón.

Dividir el terreno. Marcar cuatro parcelas del mismo tamaño y repartir los cultivos en cuatro grupos, con las plantas emparentadas juntas: leguminosas (guisantes, habas, judías); coles, col rizada, nabos y rábanos; patatas y tomates; cebollas y raíces (puerros, zanahorias, remolachas, chirivías).

Avanzar cada grupo una parcela al año. Un orden habitual: leguminosas, coles, patatas y luego cebollas y raíces. Las coles siguen a las leguminosas para aprovechar el nitrógeno que dejan.

Sembrar abono verde en la tierra desnuda. Tras una cosecha temprana, sembrar un abono verde y enterrarlo aún tierno, unas semanas antes del cultivo siguiente. El trébol, la veza y los haboncillos son leguminosas: hay que sembrarlos donde vendrán las coles, no donde tocan guisantes y habas.

Montar el compost. Sobre tierra desnuda y a media sombra, colocar un cajón de un metro de lado aproximadamente. Alternar capas de unos 15 cm de material verde y blando (hierba, restos de verdura, estiércol fresco de herbívoros) y de material marrón y seco (paja, hojas secas, cartón), con al menos tanto marrón como verde. Añadir algo de tierra de vez en cuando y mantener el montón húmedo como una esponja escurrida.

Un montón que trabaja bien humea en una mañana fría.

Voltear y vigilar el calor. Clavar un termómetro largo en el centro. Un montón que se mantiene varios días a 55 °C o más mata muchos gérmenes y semillas de malas hierbas, pero solo el centro alcanza esa temperatura: cada vez que se enfríe, pasar con la horca la parte exterior al medio y dejar que vuelva a calentarse. El compost está maduro cuando es oscuro, grumoso y huele a tierra de bosque, al cabo de unos meses o de más de un año.

Usar el estiércol con cuidado. Esparcir el estiércol de vaca, caballo, oveja, cabra o aves en otoño y enterrarlo, nunca sobre plantas en crecimiento.

> **Seguridad.** El estiércol fresco lleva gérmenes como *E. coli* y salmonela. Un estiércol que parece bien descompuesto, y el compost casero que lo contiene, pueden seguir llevándolos, porque un montón casero nunca se calienta por igual: hay que tratar ambos como estiércol fresco. Esparcirlos al menos 120 días antes de cosechar las plantas cuya parte comestible toca el suelo o puede recibir salpicaduras de tierra con la lluvia o el riego, como la lechuga, la zanahoria o la fresa, y al menos 90 días antes de las demás cosechas. No poner nunca excrementos de perro, gato, cerdo ni humanos en un huerto ni en su compost. Lavarse las manos con jabón después de tocar estiércol o compost y antes de tocar alimentos, y lavar las verduras con agua potable. Embarazadas, niños pequeños, personas mayores y personas inmunodeprimidas no deberían comer crudas las verduras de un suelo estercolado.

Historia y evolución

Los isótopos de nitrógeno de granos carbonizados de 13 yacimientos neolíticos, de Grecia a Gran Bretaña, muestran que los campesinos ya estercolaban sus cultivos hacia el 6000 a. C.

El consejo de Hesíodo sobre el barbecho, hacia el 700 a. C., es uno de los textos más antiguos conservados sobre el tema y da su fecha a esta lámina. Varrón, en el 37 a. C., describe altramuces o habas sembrados en suelo pobre y enterrados al empezar a formar vainas, en lugar del estiércol. Un siglo después, Columela considera el altramuz enterrado tan bueno como el mejor estiércol, pero duda de que las habas cosechadas por su grano enriquezcan la tierra.

En China, el Qimin Yaoshu, un manual agrícola terminado hacia el 544 d. C. por Jia Sixie, pide cambiar cada año el cultivo de los campos de mijo y señala la judía mungo y la judía adzuki como los mejores cultivos previos al mijo.

Entre el Loira y el Rin, muchos dominios francos pasaron a finales del siglo VIII y en el IX de dos hojas, con la mitad de la tierra en descanso cada año, a tres: cereal de invierno, luego avena, cebada, guisantes y habas sembrados en primavera, y después barbecho. La siembra de primavera necesita lluvias de verano, así que el sistema quedó al norte de los Alpes.

Más tarde, los cultivos forrajeros sustituyeron al barbecho. La rotación cuatrienal de Norfolk, del siglo XVIII, asociada a Charles Townshend, alternaba trigo, nabos, cebada y trébol. El historiador económico Robert Allen atribuye a las plantas fijadoras de nitrógeno cerca de la mitad del aumento de los rendimientos de grano ingleses entre la Edad Media y la Revolución Industrial.

En 1838, Jean-Baptiste Boussingault comprobó que el trébol y el guisante ganaban nitrógeno en un suelo sin materia orgánica, y el trigo y la avena no. En 1886, Hermann Hellriegel y Hermann Wilfarth relacionaron esa ganancia con los nódulos y sus microbios, y en 1888 Martinus Beijerinck aisló la bacteria.

Encerradas sobre los nabos, las ovejas se comen la cosecha donde crece y abonan la tierra para la cebada que sigue.

Cifras clave

Indicios antiguos de estercolado
Europa neolítica, desde hacia 6000 a. C. (isótopos de nitrógeno en el grano)

Rotación trienal
Reino franco, finales del siglo VIII y siglo IX; el barbecho baja de la mitad a un tercio de la tierra

Papel de las bacterias de los nódulos
Hellriegel y Wilfarth, 1886; publicado en 1888

Consejo escrito antiguo sobre el barbecho
Hesíodo, Grecia, hacia 700 a. C.

Nitrógeno fijado por un trébol bien establecido
Entre 85 y 225 kg por hectárea y año, aproximadamente

Fuentes

1. Hesiod, Works and Days, lines 458–464 (trans. H. G. Evelyn-White) · Theoi Classical Texts Library https://www.theoi.com/Text/HesiodWorksDays.html
2. Varro, On Agriculture, Book I (trans. W. D. Hooper and H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Varro/de_Re_Rustica/1*.html
3. Columella, On Agriculture, Book II (trans. H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Columella/de_Re_Rustica/2*.html
4. Manure used by Europe's first farmers 8,000 years ago (Bogaard et al., PNAS 2013) · University of Oxford via ScienceDaily https://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130716134740.htm
5. Millet: Original Chinese Staple (on the Qimin Yaoshu) · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2026-05/25/content_522073.html
6. Agricultural technique, in A. Verhulst, The Carolingian Economy · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/carolingian-economy/agricultural-technique/BA332C43E77E49855C580F1276F12809
7. Lynn White Jr., Technology in the Middle Ages (Technology in Western Civilization, vol. 1, 1967, excerpt) · Manchester University (course reading) https://users.manchester.edu/FacStaff/SSNaragon/Kant/LP/Readings/White,%20Plow.html
8. Norfolk four-course system · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Norfolk_four-course_system
9. The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis (R. C. Allen, 2008) · Journal of Economic History, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-economic-history/article/nitrogen-hypothesis-and-the-english-agricultural-revolution-a-biological-analysis/7B2406F0F800AA11E4843EDB58D558C6
10. Utilisation biologique de l'azote de l'air : repères chronologiques · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/utilisation-biologique-de-l-azote-de-l-air-reperes-chronologiques/
11. Prof. Dr. Hermann Hellriegel · Anhalt University of Applied Sciences https://www.hs-anhalt.de/en/life/bernburg/campus/history/prof-dr-herrmann-hellriegel.html
12. Is Nitrogen Fixation Oversold with Legume Cover Crops? · University of Nebraska–Lincoln, CropWatch https://cropwatch.unl.edu/2016/nitrogen-fixation-oversold-legume-cover-crops
13. Crop rotation · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/vegetables/crop-rotation
14. Club root · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/club-root
15. Onion white rot · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/onion-white-rot
16. Aged manure is not composted manure · University of Minnesota Extension https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2022/02/aged-manure-is-not-composted-manure.html
17. Composting · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/soil-composts-mulches/composting
18. Composting Manure and Other Organic Materials (NebGuide G1315) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1315/na/pdf/view
19. Guidelines for Using Manure on Vegetable Gardens (Bulletin 2510) · University of Maine Cooperative Extension https://extension.umaine.edu/publications/2510e/

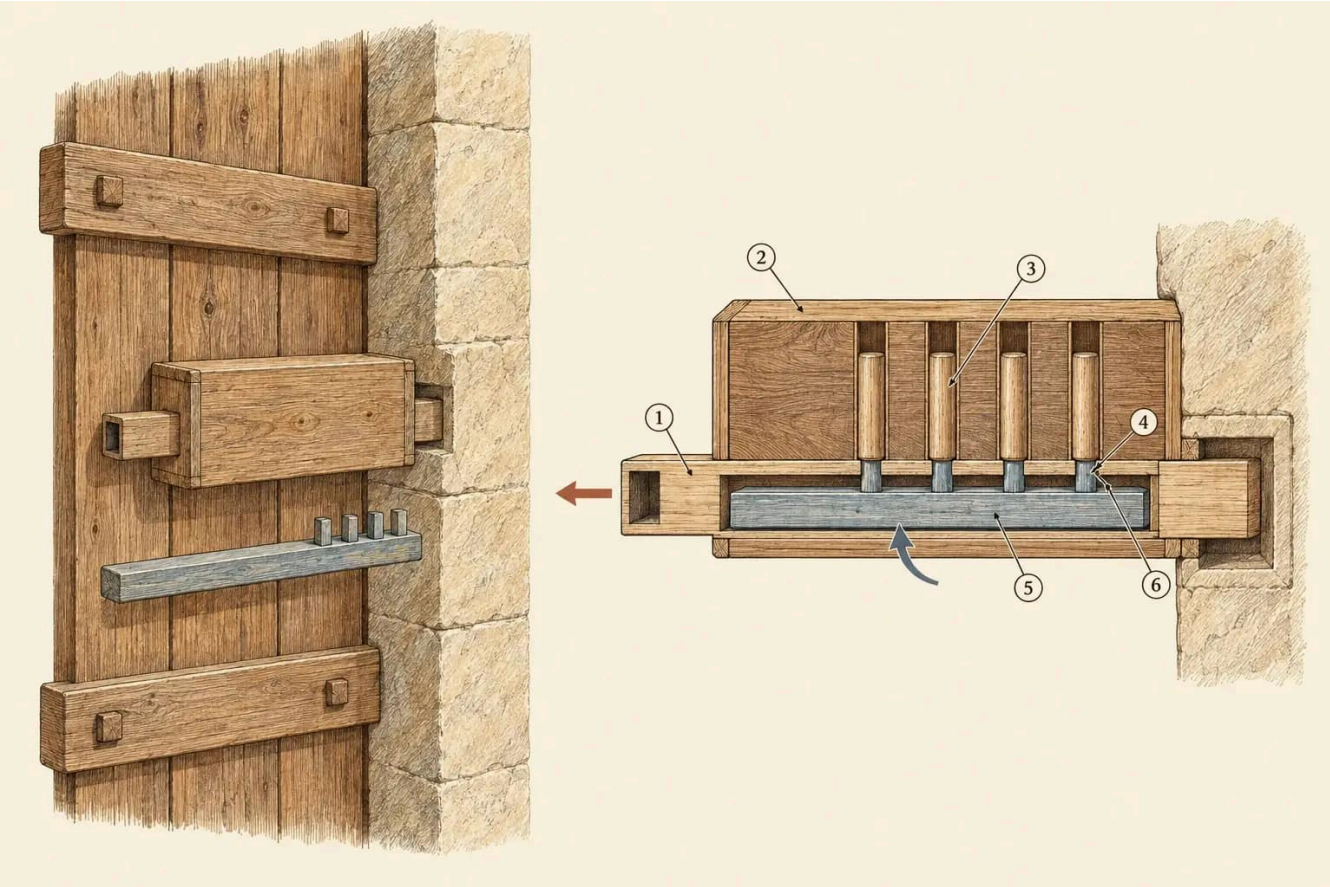
Datos verificados el 2026-10-14

Cerradura y llave

Un pestillo que solo su llave libera

h. 700 a. C. · Antigüedad · Asentamiento

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5)



1 Pestillo 2 Caja de la cerradura 3 Clavijas 4 Agujeros del pestillo 5 Llave 6 Dientes de la llave

Una cerradura retiene un pestillo hasta que una llave de la forma adecuada lo libera. Las cerraduras de madera con clavijas ya se usaban en el antiguo Oriente Próximo, y el mismo principio, perfeccionado en el siglo XIX, funciona hoy en la mayoría de los bombines de las puertas.

Qué es

Una cerradura mantiene cerrada una puerta, una tapa o una cadena, y una cerradura de llave está pensada para abrirse solo con la llave correspondiente. Toda cerradura de llave tiene un pestillo que cierra, un obstáculo que lo bloquea y una llave cuya forma retira ese obstáculo.

La lámina muestra la cerradura de madera con clavijas, a menudo llamada cerradura egipcia. No necesita metal ni muelles y, sin embargo, ya funciona como un bombín moderno de pines.

Cómo funciona

La caja es un bloque de madera fijado a la cara interior de la puerta. Un pestillo cuadrado se desliza por un túnel en su parte baja, y su extremo entra en un hueco del marco. El pestillo es hueco, y su pared superior tiene una fila

de agujeros. Encima, unas clavijas de madera sueltas cuelgan en orificios verticales de la caja. Al empujar el pestillo hasta su sitio, las clavijas caen por su propio peso en los agujeros y lo bloquean.

La llave es una barra larga y plana con dientes dispuestos como los agujeros. Se introduce en el hueco del pestillo y se levanta. Los dientes empujan las clavijas hasta que su extremo inferior queda a ras de la parte superior del pestillo, y entonces este se puede retirar con la llave todavía dentro. Si un diente está mal colocado, al menos una clavija se queda en su agujero.

Las cerraduras posteriores bloquearon el pestillo con otras piezas. Una cerradura de guardas tiene obstáculos fijos, las guardas, en el recorrido de la llave al girar, y solo una llave con cortes en los lugares adecuados gira lo suficiente para mover el pestillo. Una cerradura de palancas tiene una pila de palancas pivotantes que hay que levantar, cada una, exactamente a la altura correcta antes de que el pestillo pueda pasar.

En una cerradura de guardas, los cortes del paletón dejan girar la llave sin tropezar con las guardas fijas.

El bombín moderno de pines conserva la idea de unas piezas que la llave debe levantar hasta una altura precisa. Un rotor de latón gira dentro de un cuerpo fijo. Cinco o seis pares de pines, empujados hacia abajo por pequeños muelles, cruzan el límite entre ambas piezas e impiden que el rotor gire. Las muescas de la llave levantan cada par de modo que la unión entre el pin inferior y el superior quede justo en ese límite, la línea de corte, y el rotor gira.

Cómo construirla

Una cerradura de madera con clavijas es un buen proyecto de fin de semana para una caja o un armario. Con un poco de paciencia se abre sin llave, así que es una pieza de demostración.

Hacer el pestillo. Tome un listón de madera dura de 40 mm de ancho, 45 mm de alto y 40 cm de largo. Abra en su cara inferior una ranura de 20 mm de ancho y 30 mm de profundidad, desde el extremo interior hasta pasada la mitad, y pegue debajo un listón fino para convertirla en un túnel. Los 15 mm de madera que quedan sobre la ranura forman la pared superior. Taladre en ella tres o cuatro agujeros de 10 mm a intervalos irregulares.

Hacer la caja. Prepare un bloque con un túnel cuadrado por el que se deslice el pestillo, taladrándolo y escuadrándolo con formón o encolando cuatro tablas alrededor del pestillo. Con el pestillo en posición cerrada, taladre el bloque en vertical hasta los agujeros del pestillo para que todo quede alineado. Corte una clavija de 10 mm para cada agujero y pegue cerca de su extremo superior un collarín corto de varilla más gruesa, de modo que atraviese la pared superior del pestillo y no baje más: su extremo inferior debe quedar a ras del techo de la ranura o la llave no entrará. Ensanche la parte alta de cada orificio de la caja para alojar el collarín y pegue una tapa encima para que las clavijas no se salgan.

Hacer la llave. Cepille una barra plana de unos 10 mm de grueso que se deslice con holgura por la ranura. Péguele dientes de varilla a la misma distancia que los agujeros, de 15 mm de alto cada uno, justo el grueso de la pared superior; barra y dientes dejan así 5 mm de holgura bajo el techo al introducir la llave. Al levantar la barra de la llave hasta el techo, los dientes llenan los agujeros y suben las clavijas justo por encima del pestillo. Deje espacio sobre los collarines para que las clavijas puedan subir esa distancia.

Montar y probar. Las clavijas caen por gravedad, así que la caja debe ir en una superficie vertical, como la cara interior de la puerta de un armario, con las clavijas colgando rectas; el hueco del pestillo se abre en el marco.

Maneje la cerradura desde dentro o abra a su lado un hueco para meter la mano. Lije las clavijas hasta que caigan con libertad y encere el pestillo.

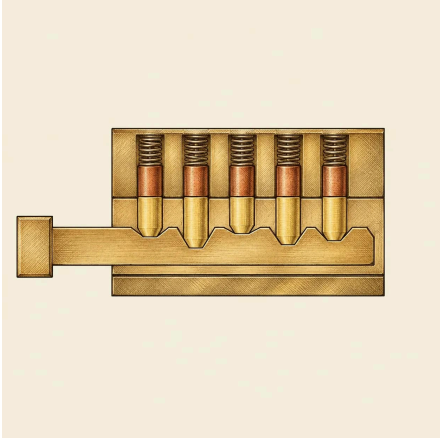
> **Seguridad.** Sujete la pieza con un sargento antes de serrar o taladrar, mantenga las dos manos detrás del filo de los formones y use gafas de protección con el taladro o la fresadora. No ponga nunca una cerradura casera en una puerta que haya que abrir deprisa en caso de urgencia, como una salida de emergencia o un baño.

Historia y evolución

Las cerraduras son difíciles de fechar, porque la madera rara vez se conserva. El excavador francés Paul-Émile Botta encontró en Jorsabad, en el palacio del rey asirio Sargón II, una puerta cerrada con una gran cerradura de madera con clavijas, y Austen Henry Layard recuperó en Nínive una llave de bronce de la misma forma. Se suele decir que la cerradura de Jorsabad tiene 4000 años, pero el palacio es del siglo VIII a. C., y el arqueólogo D. T. Potts mostró que esa cifra procede de un catálogo mal leído. También sostiene que textos mesopotámicos de presagios más antiguos ya nombran el pestillo, las clavijas y la cerradura, lo que haría el diseño más antiguo que cualquier ejemplar conservado. El nombre de «cerradura egipcia» se debe a su largo uso en Egipto, donde seguía siendo corriente en el siglo XIX.

Los anillos-llave romanos abrían cofrecillos; las ranuras del paletón le permitían pasar las guardas de la cerradura.

Los autores griegos conocían llaves de varios dientes, y los herreros romanos hicieron la cerradura de hierro y la llave de bronce, añadieron las guardas y fabricaron candados. Las llaves romanas pequeñas solían tener forma de anillo, probablemente para abrir cofres y joyeros más que puertas; la ropa romana no tenía bolsillos, y una llave llevada en el dedo estaba a la vez segura y a mano. En Colchester se enterró en una tumba una caja de madera con su anillo-llave todavía metido en la cerradura. Las cerraduras medievales eran sobre todo de guardas, a menudo muy decoradas, y una herramienta fina bastaba para burlarlas.



En un bombín de pines, la llave lleva cada unión entre pines hasta la línea de corte.

En Inglaterra, Robert Barron patentó en 1778 la cerradura de palancas de doble efecto. Joseph Bramah patentó en 1784 una cerradura cilíndrica de láminas deslizantes y más tarde ofreció una recompensa a quien abriera la que tenía en el escaparate de su tienda de Londres; el desafío suele fecharse en 1790, aunque el cartel que conserva el Science Museum lleva la fecha de 1801. El cerrajero estadounidense Alfred Hobbs lo logró durante la Gran Exposición de Londres de 1851, tras unas 51 horas de trabajo repartidas en 16 días. En 1818, Jeremiah Chubb añadió un detector a la cerradura de palancas: una palanca levantada demasiado bloqueaba el mecanismo y delataba el intento de forzarla. Abraham Stansbury patentó una cerradura de pines en Inglaterra en 1805, y Linus Yale padre patentó sus propios modelos en Estados Unidos en la década de 1840. Su hijo, Linus Yale, patentó en 1861 una cerradura de pines de llave redonda y en 1865 una cerradura que se abre con una llave de acero plana y delgada, cortada por el canto. La mayoría de los bombines actuales descienden de ese diseño.

Cifras clave

Cerradura de este tipo más antigua hallada en su sitio

Palacio de Sargón II en Jorsabad, Asiria, siglo VIII a. C.

Cerradura de desafío de Bramah

Patentada en 1784, ofrecida con recompensa desde 1790 o 1801 según las fuentes, abierta en 1851 tras unas 51 horas de trabajo

Cerradura con detector de Chubb

1818

Llave plana para cilindro de pines

Patentada por Linus Yale hijo en 1865

Fuentes

1. Lock and key in ancient Mesopotamia (D. T. Potts, Mesopotamia 25, 1990) · Università di Torino, Mesopotamia https://www.yeshiva.org.il/midrash/pdf/wiki/potts_1990_-_lock_and_key_in_ancient_mes.pdf
2. Lock and key · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/technology/technology-terms-and-concepts/lock-and-key
3. Ring (Roman bronze key ring, 547-1871) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O377794/ring/
4. Challenge board for Bramah padlock, 1801 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50474/challenge-board-for-bramah-padlock
5. Improvement in locks, US patent 48,475 (Linus Yale Jr., 1865) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US48475A/en
6. Lock and key · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lock_and_key
7. An Account of the Manners and Customs of the Modern Egyptians (E. W. Lane, 1836), ch. 1 · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/70796
8. Lock (Encyclopædia Britannica, 11th edition, 1911) · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Lock
9. Working model of Egyptian pin lock (1966-364) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50403/working-model-of-egyptian-pin-lock

Datos verificados el 2026-10-12

III

Oficios y ciudades

Torno de alfarero

Dar forma a la arcilla girándola

h. 4000 a. C. · Prehistoria · Oficios y ciudades

Requiere: Cerámica (p. 23)

1 Cabezal 2 Vasija de barro 3 Eje vertical 4 Cojinete de collar 5 Volante 6 Rangua

El torno de alfarero es un disco pesado que gira sobre un eje vertical, de modo que el barro colocado en su centro puede modelarse por igual alrededor con las manos del alfarero. Nació en Oriente Próximo como una torneta lenta hace más de seis mil años; después llegó el torno rápido, que guarda impulso suficiente para tornear una vasija a partir de una pella de barro.

Qué es

El torno de alfarero es un cabezal redondo y plano montado sobre un eje vertical que gira libremente. El alfarero coloca una pella de barro húmedo en el centro, la hace girar y la presiona con las manos mojadas o con una herramienta. Como cada punto del barro pasa por turno bajo las manos, una sola presión constante da forma a toda la circunferencia a la vez.

Hay dos tipos. El torno lento, o torneta, se gira a mano con pequeños empujones. Ayuda al alfarero a igualar una vasija levantada con churros de barro y a terminar el borde. El torno rápido sigue girando solo porque es pesado, y va lo bastante deprisa para tornear: levantar una vasija en pocos minutos a partir de una pella maciza, solo con el giro y las manos.

Los dos tipos se solapan, y los arqueólogos distinguen hoy la máquina de la técnica de modelado empleada en ella. La lámina muestra un torno de pie, un torno rápido movido con el pie, de un tipo que se usaba en los talleres europeos antes de los motores eléctricos.

Cómo funciona

El torno de pie tiene un solo eje vertical, casi siempre de hierro. Arriba lleva el cabezal, a la altura de la cintura del alfarero sentado. Cerca del suelo lleva el volante, un disco grueso y pesado de madera, piedra u hormigón. El eje gira en dos cojinetes: un collar justo bajo el cabezal que lo mantiene derecho y una rangua abajo, donde su punta o su extremo redondeado gira en una cazoleta y soporta todo el peso.

El alfarero se sienta en un banco detrás del torno y empuja el volante con un pie. Un volante pesado necesita varias patadas para arrancar, pero cuando gira almacena energía y sigue girando mientras las manos trabajan. Cuanto más pesado es, y cuanto más peso tiene cerca del borde, más tiempo conserva la velocidad. La mayoría de los alfareros hacen girar el torno en sentido antihorario; en Japón la tradición es el sentido horario.

El torneado sigue un orden fijo. Primero se centra el barro: se aprieta con las dos manos hasta que gira redondo y deja de bailar. El alfarero lo abre luego hundiendo los pulgares en el centro, deja un fondo y abre el barro en un anillo grueso. Tirando hacia arriba, con una mano dentro y otra fuera, sube la pared, más fina y más alta en cada pasada. Al final abomba o estrecha la forma, alisa el borde y separa la vasija del cabezal con un alambre. Manos y barro se mantienen mojados todo el tiempo, y una tiradera de madera apoyada en la pared que gira la alisa y retira el agua sobrante.

Las fases del torneado: centrar, abrir, subir un cilindro y dar la forma.

Herramientas del tornero: una tiradera para alisar la pared, un alambre para cortar la pieza, una esponja, un palillo y un vaciador para retornear.

El barro conserva la huella de cómo se hizo una vasija. Las estrías y marcas que dejan dedos y herramientas en las paredes interior y exterior, y la forma en que el barro está estratificado por dentro, permiten a los arqueólogos distinguir una vasija torneada a partir de una pella en un torno rápido de otra levantada con churros y solo modelada sobre un torno. Muchas de las primeras vasijas «a torno» resultan ser del segundo tipo, y así se puede seguir la lenta difusión del torneado. Las herramientas también dejan rastro: la tiradera deja una banda lisa, y un alambre pasado bajo una vasija que aún gira deja en la base un dibujo curvo, como de concha.

Cómo construirlo

Un torno de pie puede construirse en un taller con madera, un eje de acero, dos cojinetes y un volante colado en casa. El plano de Mother Earth News citado en las fuentes usa un bastidor de unos 75 cm (30 pulgadas) de lado, que también sostiene el asiento. El volante terminado pesa unos 60 a 75 kg: elija soportes, buje y fijaciones aptos para esa carga, o siga un plano completo publicado.

Montar el bastidor. Atornille un bastidor en forma de cubo con montantes de 10 × 10 cm y travesaños de 5 × 10 cm, con un travesaño justo bajo el borde superior para el cojinete de arriba y otro robusto abajo para el

inferior. Fije una tabla de asiento detrás y un reposapiés más o menos a la altura de la rodilla, del lado por el que se empuja.

Colocar el eje y los cojinetes. Use un eje de acero recto de unos 25 mm de diámetro. Atornille un soporte de brida plano sobre el travesaño inferior para cargar con el peso y otro soporte de brida plano bajo un apoyo del travesaño superior para mantener el eje derecho; fije ambos al eje con sus prisioneros. Los rodamientos estancos autoalineables son los más sencillos. Compruebe con una plomada que el eje está perfectamente vertical y que gira sin rozar la madera.

Colar el volante. Corte un disco de contrachapado de unos 60 cm con un agujero justo en el centro, pase el eje por él y atornille al contrachapado un buje o collarín de acero fijado al eje. Rodee el disco con una tira de tela asfáltica o chapa para formar un molde de 15 a 18 cm de alto, atraviese el contrachapado con pernos que sobresalgan dentro del molde y rellene con 10 a 12 cm de hormigón, que fraguará alrededor del buje. Espere al menos dos días antes de moverlo, manténgalo húmedo mientras cura y no lo haga girar hasta que el hormigón alcance la resistencia que su fabricante indica para ponerlo en carga.

Montar el cabezal. Coloque el eje con su volante en los soportes y fije arriba un cabezal de madera o metal de 25 a 30 cm. Gírelo a mano y corrija cualquier alabeo antes de poner barro.

> **Seguridad.** El volante es pesado y sigue girando mucho tiempo: mantenga dedos, pies y ropa holgada fuera del hueco entre volante y bastidor, y no lo frene nunca agarrándolo por el borde. No se suba ni se ponga de pie sobre el volante, porque puede dañar su fijación. Use gafas y guantes al preparar el hormigón, que es cáustico. El polvo de arcilla contiene sílice: limpie el torno y el suelo en húmedo, nunca barriendo en seco.

Historia y evolución

Durante miles de años, las vasijas se hicieron a mano antes de que existiera el torno. Entre los dispositivos giratorios para cerámica más antiguos y mejor estudiados están los del Levante meridional, de la segunda mitad del V milenio a. C.; otros tornos más antiguos en otros lugares son discutidos. Las investigaciones de Valentine Roux y sus colegas muestran que los alfareros de allí levantaban las vasijas con churros y luego las modelaban en el torno, y que solo unos pocos especialistas hacían ese trabajo, para cuencos finos de un rango especial. Según esta lectura, el torno temprano se difundió más por prestigio que por rapidez.

Una torneta de piedra en dos piezas: el disco superior gira sobre su pivote, encajado en la cavidad de la piedra inferior.

En el periodo de Uruk, en Mesopotamia, hacia el 3400 a. C., ya se usaba el torno rápido, y un torno de alfarero hallado en Ur se ha fechado hacia el 3100 a. C. La técnica llegó al Egeo en el III milenio a. C., aunque se discute si pasó por Creta, y a Britania solo en el siglo I a. C. En América, los alfareros produjeron cerámica fina sin ningún torno hasta el contacto con los europeos. En el mito egipcio, el dios Jnum modela a los primeros humanos en un torno de alfarero.

No se sabe con certeza cuándo apareció el torno de pie, con su largo eje y su volante empujado con el pie; algunos tornos antiguos se giraban a mano o con un palo. Tornos posteriores emplearon un pedal y una manivela para convertir el movimiento de vaivén de la pierna en giro, y hoy muchos tornos funcionan con motor eléctrico.

Cifras clave

Primera cerámica modelada en torno
Levante meridional, segunda mitad del V milenio a. C.

Torno rápido en Mesopotamia
En uso en el periodo de Uruk, hacia 3400 a. C.

Torno de alfarero de Ur
Fechado hacia 3100 a. C.

Llegada a Britania
Siglo I a. C.

Fuentes

1. Unveiling the sign value of early potter's wheels based on a 3-D morphometric analysis of Late Chalcolithic vessels from the southern Levant (Roux and Harush, 2022) · Bar-Ilan University research portal (Journal of Archaeological Science: Reports) https://cris.biu.ac.il/en/publications/unveiling-the-sign-value-of-early-potters-wheels-based-on-a-3-d-m/
2. Potter's wheel · Buckinghamshire Council Heritage Portal https://heritageportal.buckinghamshire.gov.uk/theme/tbc463
3. Pottery kick wheel plans · Mother Earth News https://www.motherearthnews.com/diy/pottery-kick-wheel-plans-zmaz70ndzgoe/
4. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
5. A preliminary study of rotation velocity regulation in pottery wheel-throwing: fieldwork with Indian potters using the low-inertia kick-wheel (Gandon et al., 2021) · HAL open archive (Journal of Archaeological Science: Reports) https://amu.hal.science/hal-03475151
6. The Ancient Greek potter’s wheel: experimental archaeology and web applications for velocity analysis (Neth and Hasaki, 2021) · Interdisciplinaria Archaeologica https://iansa.eu/papers/IANSA-2021-02-neth.pdf
7. Ceramics Unit 8: Wheel Throwing · Colorado State University Extension (4-H) https://co4h.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/27/2026/03/Ceramics-Unit-8-Wheel-Throwing.pdf
8. Weights of clay needed for ware sizes · Lakeside Pottery https://www.lakesidepottery.com/HTML%20Text/Tips/weights-of-clay-needed-for-ware-size.pdf
9. Water of plasticity · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/test/wopl

Datos verificados el 2026-10-12

Bronce

Cobre y estaño, más duros juntos

h. 3300 a. C. · Prehistoria · Oficios y ciudades

Requiere: Cerámica (p. 23), Dominio del fuego (p. 9), Carbón vegetal (p. 65)

Conduce a: Pila eléctrica (p. 239), Engranajes (p. 153), Reducción del hierro (p. 136), Bomba de pistón (p. 161)

1 Crisol con bronce fundido 2 Fuelle de olla 3 Tobera de arcilla 4 Molde exterior de arcilla 5 Núcleo de arcilla 6 Embudo y canal de colada

El bronce es cobre aleado con un poco de estaño, normalmente una décima parte. Es más duro que el cobre, funde a menor temperatura y llena bien un molde; desde el IV milenio a. C. dio nombre a toda una edad de herramientas, armas, vasijas y estatuas.

Qué es

El bronce es una aleación, un metal formado por dos o más elementos, aquí sobre todo cobre con una parte menor de estaño; la receta clásica lleva unas nueve partes de cobre por una de estaño, en peso. Los objetos antiguos conservados contienen entre dos tercios y un 95 % de cobre, y a veces otros metales como arsénico, plomo o cinc.

El estaño endurece el cobre, y una hoja conserva mejor el filo. El bronce funde en un intervalo de temperaturas en torno a 950 °C, según el contenido de estaño, mientras que el cobre puro funde a 1085 °C; esa temperatura más

baja es más fácil de alcanzar con un fuego de carbón vegetal y fuelles. El bronce fundido corre además bien dentro del molde.

Cómo funciona

El cobre puro está formado por cristales cuyos planos de átomos se deslizan con facilidad unos sobre otros; por eso se dobla y se abolla. Los átomos de estaño son más grandes. Repartidos por el cobre, traban esos planos, de modo que el metal resiste mejor que se doble o se abolle. El martilleado en frío lo endurece aún más, de modo que una hoja de bronce podía fundirse y luego batirse en el filo para endurecerlo.

El contenido de estaño decide para qué sirve el metal. El bronce con un 10 % de estaño era la norma para fundir herramientas y armas; uno más blando, con un 6 %, se batía en chapa. El bronce de campana supera el 20 % de estaño: es duro y suena bien, pero se rompe si cae. Demasiado estaño vuelve quebradizo cualquier bronce.

Materias primas del comercio de la Edad del Bronce: un lingote de cobre «de piel de buey» con cuatro asas y trozos de estaño.

Los minerales de cobre y de estaño rara vez aparecen en el mismo lugar. El cobre se extraía en muchas regiones, Chipre entre las más ricas; el estaño procedía de sitios mucho menos numerosos, como Cornualles, los montes Tauro y Afganistán o sus alrededores. El bronce dependía por tanto de largas rutas comerciales, y un corte en el suministro de estaño podía detener la producción muy lejos.

Un molde de piedra de dos piezas: cerradas, las dos mitades forman el hacha, y el metal se vierte por el extremo estrecho.

Las formas sencillas, como las hachas planas, se fundían en moldes abiertos o en moldes de dos piezas, de piedra o de arcilla. Los objetos huecos o muy detallados podían hacerse por fundición a la cera perdida. El fundidor modelaba el objeto en cera sobre un núcleo de arcilla, añadía varillas de cera que serían el canal de colada y lo envolvía todo en arcilla fina. Al cocer el molde, la cera se fundía y salía. El bronce vertido en el molde caliente ocupaba el hueco que había dejado la cera, y el molde se rompía cuando el metal se había enfriado. Las fundiciones artísticas siguen trabajando así: vierten el bronce a mucho más de 1000 °C en un molde calentado antes a varios cientos de grados, para que no se agriete.

Cómo fabricarlo

Fundir bronce supone manejar metal a más de 1000 °C. Apréndalo en un curso de fundición o en el taller de una escuela, con un fundidor experimentado, antes de intentarlo en otro sitio. Los pasos siguientes describen una pequeña fundición a la cera perdida.

Hacer el modelo. Modele un objeto pequeño en cera de fundición, macizo y en ningún punto más grueso que un dedo. Fije una varilla y una copa de cera en la parte más gruesa: formarán el canal de colada.

Revestirlo. Fije la copa de cera sobre una base de colada de goma, coloque encima un cilindro de acero y llénelo con un revestimiento de los que se venden para fundir bronce, mezcla de yeso y sílice; al retirar la base, la copa queda como abertura de colada. Siga al pie de la letra las instrucciones del fabricante para mezclarlo, dejarlo fraguar y secarlo: cada sistema tiene las suyas.

Descerar. Caliente el molde boca abajo en un horno siguiendo el ciclo de cocción indicado para el revestimiento, para que la cera salga y el molde quede totalmente seco. Cuele mientras siga caliente: un molde frío o húmedo puede agrietarse o escupir el metal.

Fundir el metal. Use bronce de fundición ya preparado (cobre con un 10 % de estaño) o pese cobre y estaño limpios en proporción de 9 a 1. Fúndalo en un crisol de arcilla y grafito, en un horno con aire forzado; si hace usted la aleación, añada el estaño al final, y retire la escoria.

Colar y acabar. Levante el crisol con unas tenazas adecuadas y vierta en un chorro continuo hasta llenar la copa. Deje enfriar, rompa el molde, corte el canal y lime, cincele y pula la superficie.

> **Seguridad.** El metal fundido causa quemaduras graves e incendios. Use ropa de protección contra salpicaduras de metal fundido, pantalla facial sobre gafas de seguridad, guantes y botas de fundición, con el pantalón por fuera de las botas para que el metal no entre, y mantenga alejados a los curiosos. Herramientas, moldes y lingotes deben estar totalmente secos: una gota de agua bajo el metal fundido se convierte en vapor y lo proyecta. Cuele sobre arena seca, nunca sobre hormigón, y trabaje al aire libre o con una extracción potente. No funda nunca chatarra de composición desconocida: el latón desprende humos de cinc y algunas aleaciones antiguas contienen plomo u otros metales tóxicos. El revestimiento y los moldes rotos sueltan polvo de sílice: mézclelos y rómpalos en húmedo o con extracción de polvo, y use un equipo de protección respiratoria certificado y bien ajustado contra el polvo fino de sílice.

Historia y evolución

En la meseta iraní, en yacimientos como Tal-i Iblis, se producía cobre aleado con arsénico hacia 3800-3400 a. C. El cobre arsenical es duro, pero sus humos son venenosos. El bronce de estaño más antiguo conocido hasta ahora es una lámina de Pločnik, en Serbia, que sus excavadores fechan hacia 4650 a. C., aunque el contexto del hallazgo se ha puesto en duda; probablemente se obtuvo de un mineral que ya contenía ambos metales. En Oriente Próximo, la Edad del Bronce se fecha desde mediados del IV milenio a. C., al principio sobre todo con cobre arsenical; el bronce de estaño pasó a ser la aleación habitual durante el III milenio. En China, la Edad del Bronce comenzó a principios del II milenio a. C.

El pecio de Uluburun, hundido frente al sur de Turquía hacia 1300 a. C., muestra la escala de ese comercio. Su bodega llevaba unas 10 toneladas de cobre chipriota, entre ellas unos 350 lingotes de piel de buey, y alrededor de una tonelada de estaño, más o menos la proporción de diez a uno del bronce. En China, las cortes shang y zhou mandaban fundir vasijas rituales para ofrendas y tumbas, con un método de moldes por piezas sin paralelo en otros lugares.

Un caldero ritual shang de tipo ding. Los fundidores chinos colaban estas vasijas en moldes armados con muchas piezas de arcilla.

Hacia 1200 a. C., guerras y migraciones en el Mediterráneo oriental cortaron muchas rutas comerciales; una explicación es que el estaño escaseó, aunque los indicios varían de una región a otra. El hierro, cuyo mineral se encuentra casi en todas partes, fue sustituyendo al bronce en herramientas y armas a medida que los herreros aprendían a trabajarlo. El bronce siguió usándose para campanas, estatuas, espejos, monedas y herrajes de barcos, y hoy para cojinetes, muelles y piezas marinas que deben resistir el agua de mar.

Cifras clave

Aleación clásica
Unas 9 partes de cobre por 1 de estaño

Fusión
En un intervalo en torno a 950 °C, según el estaño (cobre puro: 1085 °C)

Bronce de estaño más antiguo hallado
Una lámina de Pločnik (Serbia), fechada hacia 4650 a. C. (discutido)

Carga de Uluburun, hacia 1300 a. C.
Unas 10 t de cobre y 1 t de estaño

Fuentes

1. Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago (Radivojević et al., Antiquity, 2013) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/tainted-ores-and-the-rise-of-tin-bronzes-in-eurasia-c-6500-years-ago/496710374082FC211C512670F0A98004
2. Uluburun Shipwreck · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/Uluburun_Shipwreck/
3. Metalworking techniques · Victoria and Albert Museum https://www.vam.ac.uk/articles/metalworking-techniques
4. Rodin's lost-wax casting process · North Carolina Museum of Art https://learn.ncartmuseum.org/resources/rodins-lost-wax-casting-process/
5. Jue (ritual wine vessel), Late Shang dynasty · University of Arkansas Museum https://scholarworks.uark.edu/uamumaa/2
6. Bronze · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze
7. Cu-Sn system: calculated phase diagram and invariant reactions (after Shim, Oh, Lee and Lee, 1996) · National Institute of Standards and Technology https://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/cusn.html
8. C90700 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C90700.pdf
9. C91100 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91100.pdf
10. C91300 bell metal: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91300.pdf
11. Experimental design of the Cu-As-Sn ternary colour diagram (Radivojević et al., 2018) · Journal of Archaeological Science 90 https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.12.001
12. Arsenic bronze: dirty copper or chosen alloy? A view from the Americas (Lechtman, 1996) · Journal of Field Archaeology 23 https://doi.org/10.1179/009346996791973774
13. From the object to the mould: is there a connection between microstructure of a cast bronze object and its mould material used? (Jochum Zimmermann, Künzler Wagner and Osimitz, 2012) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10076
14. Castability control in metal casting via fluidity measures (Dewhirst, PhD thesis, 2008) · Worcester Polytechnic Institute https://web.wpi.edu/Images/CMS/A_2.pdf
15. Effect of composition and pouring temperature of Cu-Sn on fluidity and mechanical properties of investment casting (Slamet et al., 2024) · Archives of Foundry Engineering 24(3) https://doi.org/10.24425/afe.2024.151290

Datos verificados el 2026-10-12

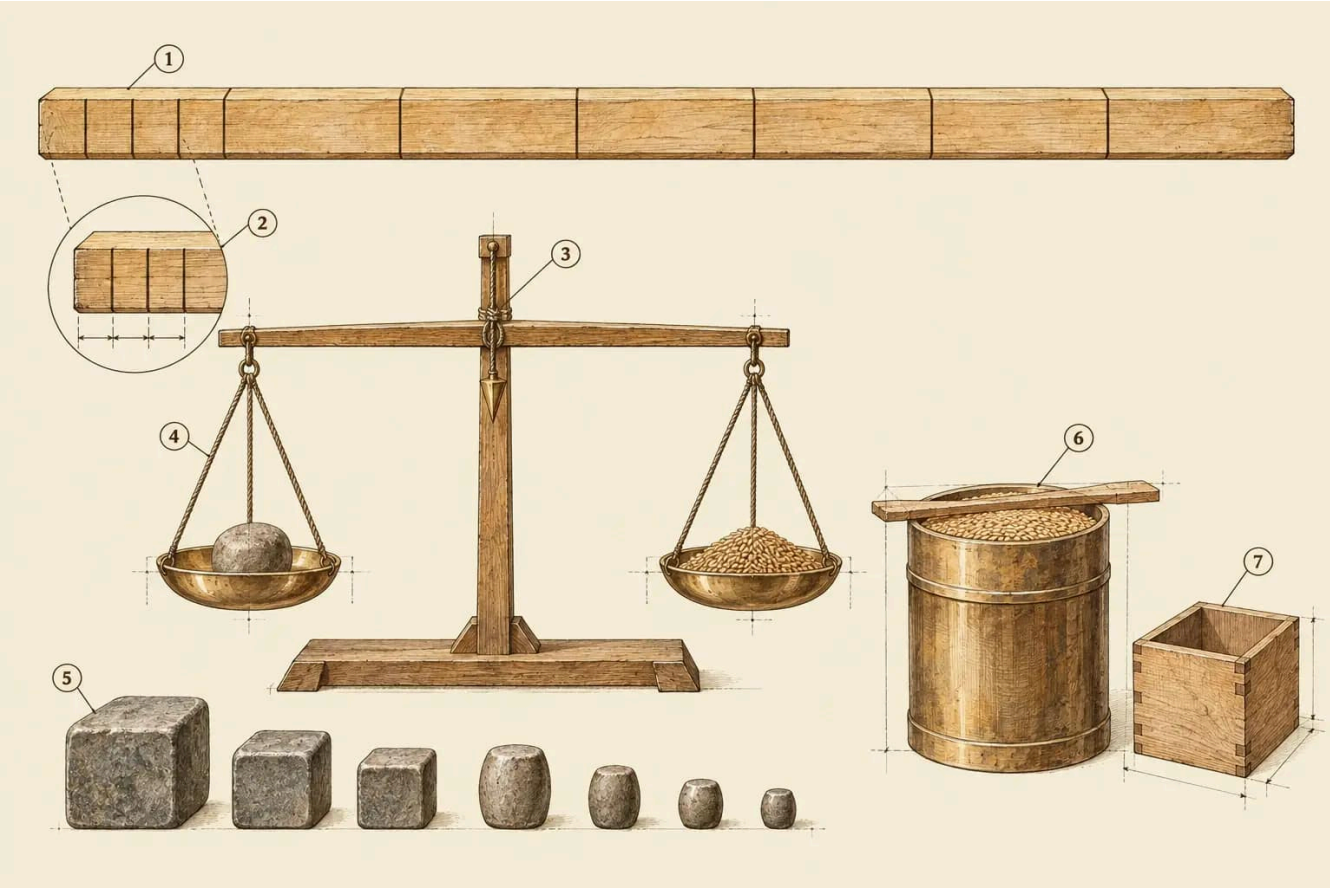
Medidas y patrones

El codo, la balanza y el metro

h. 3000 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Herramientas de piedra (p. 5), Cuerda y cordaje (p. 13), Cerámica (p. 23)

Conduce a: Acueducto (p. 145), Navegación astronómica (p. 209), Rehidratación oral (p. 375), Cemento Portland (p. 256), Termómetro y barómetro (p. 221)



1 Regla de un codo, el patrón de longitud 2 Primer palmo dividido en cuatro dedos 3 Astil colgado de su centro exacto, con fiel 4 Platillo colgado de cuerdas 5 Juego de pesas de piedra 6 Medida de grano con su rasero 7 Cubo sacado de la unidad de la regla

Una medida es una longitud, un peso o un volumen acordados de antemano, y un patrón es el objeto que la conserva: una regla, un juego de piedras o una vasija, bien guardados y copiados. Egipto medía en codos, palmos y dedos, las pesas de balanza se difundieron desde Mesopotamia a partir de aproximadamente 3000 a. C., y ese mismo trabajo de guardar y copiar referencias llevó al metro y al kilogramo.

Qué es

Una medida permite comparar cosas que no están una al lado de otra: vigas encargadas a un bosque lejano, grano vendido por volumen, cobre vendido por peso. Las unidades en sí son arbitrarias. Lo importante es que todas las copias coincidan entre sí.

Un patrón es el objeto que fija una unidad: una regla, una pesa, una vasija. Una autoridad lo custodia y con él se comprueban las copias de uso. La lámina muestra las herramientas básicas tal como un artesano podría rehacerlas: una regla de un codo, una balanza de brazos iguales con sus pesas de piedra, una medida de grano y una caja que convierte una longitud en un volumen.

Cómo funciona

Longitud. Las unidades más antiguas salen del cuerpo: el antebrazo, el palmo, el dedo, el pie. Como los cuerpos varían, una regla fija la longitud elegida. El codo real egipcio tenía 7 palmos de 4 dedos (el palmo menor, el ancho de la mano), 28 dedos en total, y las reglas que se conservan miden unos 52 a 53 cm. Kha, jefe de obras enterrado en Deir el-Medina, recibió del rey un codo dorado, pero seguramente trabajaba con uno plegable hallado en la misma tumba. Dos reglas se comparan sin cifras: una junto a otra, con los extremos alineados.

Peso. Una balanza de brazos iguales compara dos cargas. El astil cuelga de su centro y los platillos cuelgan a igual distancia a cada lado, de modo que solo queda horizontal cuando ambos platillos llevan el mismo peso. Las pesas son trozos de piedra dura o de metal pulidos hasta equilibrar una referencia, a menudo aplanados por debajo para que no rueden.

En las ciudades del Indo, en el III milenio a. C., las pesas eran sobre todo cubos de sílex. Un estudio de las de Mohenjo-daro, publicado en 1938, halló una unidad de unos 0,86 g y pesas de 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64 unidades, y luego escalones mayores como 160, 200, 320 y 640. Las más comunes eran de 16 y 32 unidades, unos 13,7 y 27,4 g. En varios tamaños habituales, la desviación media respecto al valor medio era solo de un 1 a un 2 %.

Las pesas del Indo eran cubos de sílex bandeado; en los tamaños menores, cada una pesaba más o menos la mitad que la anterior.

Volumen. El grano, el aceite y el vino se vendían con vasijas de capacidad acordada, y los áridos se enrasaban con un palo recto, el rasero. Un volumen también puede salir de una longitud: el ánfora romana usada como unidad equivalía a un pie cúbico, y el primer kilogramo era la masa de un decímetro cúbico de agua.

Cómo construirlo

Hace falta un listón recto de madera dura bien seca de unos 60 cm, otro listón para el astil, cordel resistente, dos cuencos iguales, piedras duras de grano fino, limas, una piedra plana de amolar, una cuchilla de trazar, un compás de puntas y unas tablillas finas.

Elegir y copiar el patrón. Cualquier longitud puede ser la unidad: un antebrazo o un metro de carpintero. Trace dos rayas finas a través de la regla en sus extremos; las rayas duran más que las caras de los extremos, que se desgastan. Guarde este patrón en seco y úselo solo para comprobar copias. Para copiarlo, apoye contra él un listón en blanco, pase cada raya con la cuchilla y luego dé la vuelta a la copia, alinee su primera raya con la del patrón y compare las demás: una raya que ya no coincide delata un error.

Dividir sin cálculos. Para 7 palmos, abra el compás a ojo y llévelo siete veces a lo largo de la regla. Si el último paso no cae en la raya final, corrija la abertura y empiece de nuevo hasta acertar. Divida un palmo en 4 dedos del mismo modo.

Hacer la balanza. Cuelgue el astil de un cordel o un pasador en el centro de su borde superior: así casi toda su masa queda bajo el punto de giro y vuelve solo a la horizontal. Cuelgue los platillos de muescas equidistantes del

centro, fije un fiel y raspe el extremo más pesado hasta que el astil vacío quede horizontal.

Comprobarla intercambiando las cargas. Equilibre una piedra con arena y luego intercambie la piedra y la arena. Si el astil sigue horizontal, los brazos son iguales. Si no, mueva un poco una muesca, vuelva a dejar horizontal el astil vacío y repita la prueba. Después añada objetos pequeños a un platillo y anote el menor que mueve el fiel: las pesas comprobadas en esta balanza no serán más exactas que eso.

Hacer pesas a partir de una referencia. Incluso una balanza imperfecta copia una pesa por sustitución: equilibre la referencia con arena, retírela y amuele una piedra nueva hasta que equilibre la misma arena. Para una serie en la que cada pesa valga el doble de la anterior, amuele una piedra que equilibre dos unidades juntas, luego otra que equilibre esa piedra y las dos unidades juntas, y así sucesivamente. Compare las pesas grandes con la suma de las pequeñas, porque los errores se acumulan.

Sacar un volumen de la regla. Construya una caja abierta cuyo largo, ancho y fondo interiores midan un palmo cada uno. El agua que cabe en ella puede marcar un nivel en una vasija o pesarse para ligar un peso a su longitud; la definición del primer kilogramo también fijaba la temperatura del agua. Con el grano, viértalo suelto, sin sacudir ni apretar, y enrase con el rasero.

> **Seguridad.** Amolar piedra produce un polvo fino que puede contener sílice: trabaje en húmedo, use gafas y una mascarilla FFP2 o FFP3, y limpie con agua, no con escoba. Sujete la pieza con un sargento al trazar con la cuchilla. No haga pesas de plomo. Las medidas caseras no tienen validez legal: en la mayoría de los países, vender al peso o por volumen exige instrumentos verificados.

Historia y evolución

Las pesas de balanza aparecen en Mesopotamia y Egipto hacia el inicio del III milenio a. C. Los textos mesopotámicos definen el siclo, de unos 8,4 g, como 180 granos de cebada, y muchas pesas son piedras pulidas, algunas talladas en forma de pato o de león. Un equipo de la Universidad de Gotinga comparó 2274 pesas de 127 yacimientos fechados hacia 3000–1000 a. C. Unidades parecidas se difundieron desde Mesopotamia hasta Europa, mientras que el valle del Indo tenía un sistema propio. En torno a la media de cada unidad, las pesas se dispersan con un coeficiente de variación (desviación típica dividida por la media) de entre un 5 y un 6 %. Cuando el equipo fabricó 100 copias con réplicas de balanzas, cada una a partir de un modelo elegido al azar, la dispersión fue casi la misma, un 5,4 %, y los autores sostienen que los mercaderes mantenían acordes las unidades comparando sus pesas entre sí, sin una autoridad central.

Una mesa pública de medidas: el comprador llenaba una cavidad y la vaciaba por el orificio inferior.

Aun así, las ciudades guardaban referencias oficiales. En Pompeya, una mesa de piedra del foro tenía cavidades con las medidas oscas locales; cuando Augusto unificó las medidas romanas, el consejo las mandó agrandar y tallar cuatro más. En Inglaterra, Enrique VII hizo fabricar en 1495–1497 una yarda patrón de bronce y envió copias a los burgos; resultó imprecisa y fue sustituida hacia 1588.

En 1791 la Academia de Ciencias de París propuso un metro igual a la diezmillonésima parte de la distancia del polo al ecuador, y unos geodestas midieron el meridiano de Dunkerque a Barcelona para hallarlo. En 1799 se depositaron en los Archivos de Francia un metro de platino, definido por sus caras extremas, y un kilogramo igual a un decímetro cúbico de agua. Pronto la barra misma pasó a ser la unidad.

En 1875 diecisiete países firmaron la Convención del Metro, que creó la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, cerca de París. Desde 1889 el metro fue la distancia entre dos rayas de una barra de platino iridiado en forma de X, a 0 °C, y el kilogramo la masa de un cilindro de la misma aleación; se enviaron copias a los Estados miembros. Comprobaciones posteriores mostraron que las copias se iban apartando poco a poco del original, unos 25 microgramos de mediana en 1989–1991. El metro se redefinió con la luz del criptón en 1960 y con la velocidad de la luz en 1983. Desde el 20 de mayo de 2019, el kilogramo se basa en la constante de Planck.

El kilogramo internacional se guardaba bajo campanas de vidrio; el metro de 1889 era una barra de sección en X.

Cifras clave

Codo real egipcio

7 palmos de 4 dedos, 28 en total; las reglas conservadas miden unos 52 a 53 cm

Pesas de la Edad del Bronce comparadas

2274 pesas de 127 yacimientos, hacia 3000–1000 a. C.

Kilogramo

Un cilindro de platino iridiado de 1889; definido por la constante de Planck desde el 20 de mayo de 2019

Pesas del Indo (Mohenjo-daro)

Unidad de unos 0,86 g; las pesas más comunes son de 16 y 32 unidades, unos 13,7 y 27,4 g

Primeros metro y kilogramo

Patrones de platino depositados en los Archivos de Francia en 1799

Fuentes

1. Royal cubit rod inscribed with the name of pharaoh Amenhotep II (Suppl. 8647) · Museo Egizio, Turin https://collezioni.museoegizio.it/en-GB/material/S_8647
2. Cubit rod (Liverpool M13825) · Global Egyptian Museum / World Museum Liverpool https://globalegyptianmuseum.org/detail.aspx?id=4424
3. System of weights (A. S. Hemmy), in E. J. H. Mackay, Further Excavations at Mohenjo-daro (1938) · Archaeological Survey of India https://richardsproat.com/indus_weights/Hemmy-1938-weights-Mohenjodaro-Mackay.pdf
4. Hanging in the Balance: Precision Weighing in Antiquity (William B. Hafford, Expedition 47.2, 2005) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition?p=9719
5. Bronze Age: how the market began (press release, 29 June 2021) · University of Göttingen https://www.uni-goettingen.de/en/73613.html?id=6309
6. Bronze Age weight systems as a measure of market integration in Western Eurasia (Ialongo, Hermann and Rahmstorf, PNAS 118, 2021) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8271817/
7. Bronze Age Merchants Developed Measurement System · Archaeology Magazine https://archaeology.org/news/2021/06/30/210701-bronze-age-weights/
8. Roman Weights and Measures · University of Kent https://blogs.kent.ac.uk/lucius-romans/2017/12/13/roman-weights-and-measures/
9. VII.7.31 Pompeii, Mensa Ponderaria · Pompeii in Pictures https://pompeiiinpictures.com/pompeiiinpictures/R7/7%2007%2031.htm
10. Cooking the volumes (Amelia Carolina Sparavigna, 2012) · arXiv, Politecnico di Torino https://arxiv.org/abs/1201.3774
11. Exchequer standard yard of King Henry VII, 1495-1497 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co57527/exchequer-standard-yard-of-king-henry-vii-1495-1497-rules-measuring-devices-linear-standards
12. Time Line for the Definition of the Meter (William B. Penzes) · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/document/museum-timelinepdf
13. Defining the International System of Units (SI) · NIST Museum https://www.nist.gov/nist-museum/defining-international-system-units-si
14. Historical perspective: Unit of mass, kilogram · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/kilogram
15. Historical perspective: Unit of length, metre · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/metre
16. The evolution of the metre · Physics World https://physicsworld.com/a/the-evolution-of-the-metre-how-a-product-of-the-french-revolution-became-a-mainstay-of-worldwide-scientific-collaboration/
17. SM052 Analytical balance, circa 1962 · University of Malta Science Museum https://staff.um.edu.mt/rlib1/sm/balance.htm
18. Site 1149, table T17: physical properties by lithology (ODP Leg 185 Initial Reports) · Ocean Drilling Program, Texas A&M University https://www.iodp.tamu.edu/publications/185_IR/chap_04/c4_t17.htm

Datos verificados el 2026-10-13

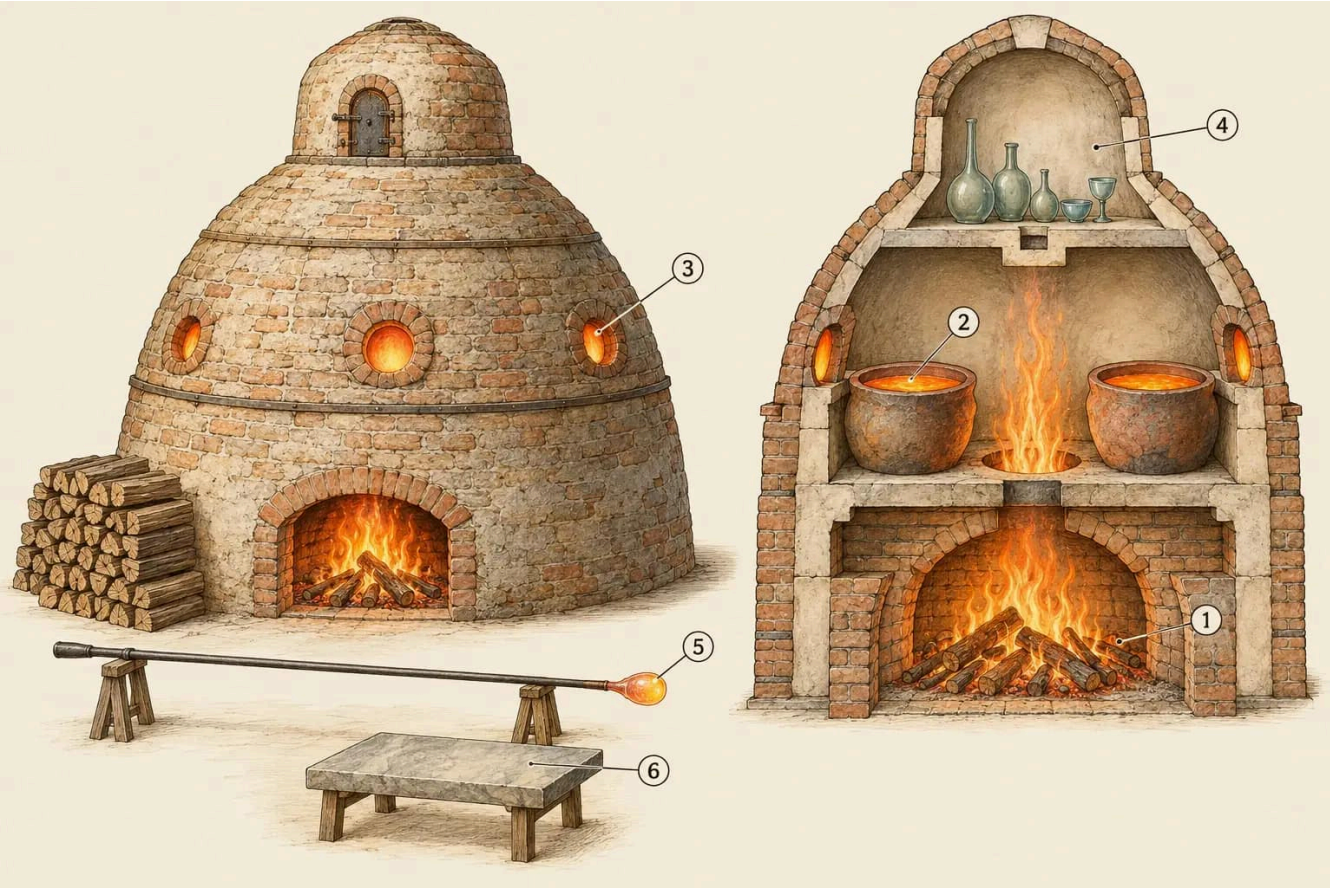
Vidrio

Arena fundida y transparente

h. 2500 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Cerámica (p. 23)

Conduce a: Anestesia (p. 293), Conservas y pasteurización (p. 247), Gafas (p. 196), Bombilla incandescente (p. 321), Penicilina (p. 356), Fotografía (p. 260), Célula solar (p. 370), Termómetro y barómetro (p. 221), Vacunación (p. 234)



1 Cámara de fuego 2 Crisol con vidrio fundido 3 Boca de trabajo 4 Cámara de recocido 5 Caña con una postura de vidrio 6 Mármol

El vidrio es arena fundida con un fundente como la sosa y un poco de cal, enfriada antes de que pueda cristalizar, de modo que se convierte en un sólido duro que, si es puro, deja pasar la luz. Primero se hicieron con él cuentas en Mesopotamia, y se volvió un material corriente cuando los vidrieros del Mediterráneo oriental aprendieron a soplarlo con una caña en el siglo I a. C.

Qué es

El vidrio es un sólido sin cristales. Cuando se funde arena con los añadidos adecuados y el líquido se enfría lo bastante rápido, sus átomos no tienen tiempo de ordenarse en una red regular. Se quedan fijos en una red desordenada; por eso el vidrio es duro y frágil, y por eso se ablanda poco a poco con el calor en lugar de fundirse a una temperatura concreta. El vidrio claro deja pasar la luz porque sus componentes absorben poca luz visible y una buena fusión no contiene burbujas ni cristales que la dispersen.

El vidrio corriente, antiguo o moderno, es vidrio sodocálcico. La arena de sílice forma la red. La sosa, sacada del mineral natrón o de las cenizas de plantas de marisma salada, baja la temperatura de fusión hasta un punto que un fuego de leña puede alcanzar. La cal, a menudo presente en la arena como restos de conchas, estabiliza el vidrio para que el agua no lo ataque.

La lámina muestra un horno de vidrio redondo del tipo que describió Georgius Agricola en 1556, con la caña y el mármol del soplador.

Cómo funciona

El horno tiene tres niveles. En la cámara inferior arde la leña. Las llamas suben por un agujero redondo a la cámara central, donde unos crisoles de arcilla contienen el vidrio fundido; Agricola describe crisoles panzudos de unos dos pies de alto, metidos por aberturas en la pared. El calor pasa después por una abertura más pequeña a la cámara superior, menos caliente, que sirve para el recocido.

El soplador mete el extremo de una caña de hierro en un crisol y la hace girar para enrollar una postura de vidrio fundido, como miel en una cuchara. Al hacerla rodar sobre el mármol, una losa lisa de piedra o de hierro, la centra y le enfría la piel. Un soplo forma una burbuja. Después recalienta la pieza en la boca de trabajo, sopla y balancea la caña para estirarla, y la moldea con pinzas, paletas y tacos de madera. Para acabar el borde, la vasija se fija por la base a una varilla maciza de hierro, el puntel, y se separa de la caña.

Las herramientas del soplador: caña, varilla de hierro, pinzas, tijeras, paleta y taco de madera.

El vidrio se contrae al enfriarse, y su piel endurece antes que el interior. Una pieza enfriada al aire guarda tensiones internas y puede estallar horas después. El recocido lo evita: las vasijas terminadas pasan a una cámara caliente y se enfrían despacio durante muchas horas. Agricola advertía que las vasijas que no se enfriaban despacio reventarían.

El color procede de impurezas y añadidos. El hierro de la arena tiñe el vidrio de verde o pardo; el manganeso, que los vidrieros de época romana añadían como decolorante, lo compensa, y el cobalto da un azul intenso.

Cómo fabricarlo

El vidrio se recoge de un horno a mucho más de 1000 °C y se moldea mientras sigue al rojo. Aprenda a soplar en un taller de vidrio o en un curso con un instructor; cuando domine lo básico, muchos talleres alquilan horas de horno.

Empezar con calcín. Los principiantes trabajan con vidrio ya hecho, comprado como calcín para refundir y fundido en el horno del taller. Hacer vidrio a partir de una mezcla bruta de arena, sosa y cal exige temperaturas más altas y fusiones largas, y esos polvos son peligrosos.

Recoger y marmolear. Precaliente el extremo de la caña, métalo en el crisol y gire con regularidad para recoger una postura pequeña. Hágala rodar sobre el mármol para que quede redonda y uniforme.

Soplar y dar forma. Sople un poco, tape la boquilla con el pulgar y deje que el aire se caliente y se expanda. Recaliente a menudo en la boca de trabajo y no deje de girar la caña para que el vidrio no se descuelgue. Dé forma con tacos de madera mojados, paletas y pinzas, y marque con las pinzas un cuello estrecho entre la pieza y la caña.

Pasar al puntel y acabar. Un ayudante acerca a la base un puntel con una gota de vidrio caliente; enfríe ese cuello con una gota de agua puesta con las pinzas y golpee la caña para que la pieza pase al puntel. Recaliente, abra el

borde con las pinzas y luego, como indique el instructor, suelte la pieza del puntel sobre un soporte resistente al calor y colóquela con cuidado en el horno de recocido.

Recocer. El horno de recocido mantiene la pieza a una temperatura fija y luego la enfría despacio según un programa adaptado al vidrio y a su grosor; para piezas pequeñas suele durar una noche. Tóquela solo cuando haya terminado el ciclo fijado por el instructor.

> **Seguridad.** Hornos, bocas de trabajo y vidrio caliente causan quemaduras graves e incendios: lleve ropa de fibras naturales y calzado cerrado, recójase el pelo y trate toda pieza de vidrio como caliente mientras no esté seguro de que está fría. Use gafas pensadas para el vidrio, contra el deslumbramiento y los infrarrojos. La arena de sílice y los polvos de mezcla no deben respirarse: deje la fabricación de vidrio en bruto a talleres equipados. Recueza cada pieza terminada y no exponga nunca el vidrio caliente al agua ni a una corriente de aire frío: puede estallar. Funda solo vidrio aprobado por el taller y de composición conocida, en un horno ventilado: el cristal de plomo antiguo y el vidrio de color desconocido pueden desprender humos nocivos.

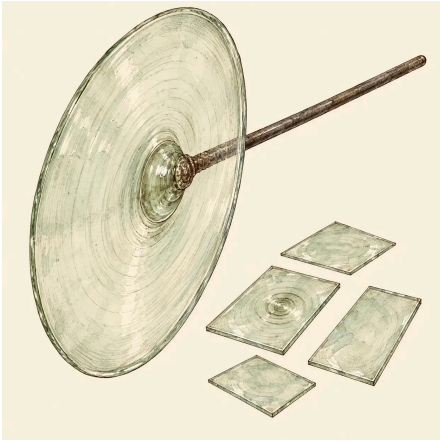
Historia y evolución

Un frasco hecho sobre núcleo: antes del soplado, las vasijas pequeñas se modelaban alrededor de un núcleo que luego se retiraba.

El vidrio aparece primero en forma de pequeñas cuentas en Mesopotamia en la segunda mitad del III milenio a. C., probablemente como derivación de los vidriados y la fayenza. Las primeras vasijas, de finales del siglo XVI a. C., se hicieron en el norte de Mesopotamia y pronto en Egipto con la técnica del núcleo: el vidrio caliente se enrollaba alrededor de un núcleo de arcilla y arena montado en una varilla metálica, se decoraba con hilos de color y, una vez frío el vidrio, se raspaba el núcleo.

Más tarde la vidriería se dividió en dos oficios. Grandes hornos cerca de las costas del Levante y de Egipto convertían arena y natrón en vidrio en bruto, colado en bloques que podían pesar unas 10 toneladas; los bloques se rompían y los trozos cruzaban el Mediterráneo hasta los talleres que los refundían y les daban forma. Este reparto del trabajo existía a mediados del I milenio a. C. En la segunda mitad del siglo I a. C., artesanos de esa región aprendieron a soplar el vidrio con una caña. El testimonio más antiguo fechado con precisión, tubos de vidrio soplados en forma de ampolla, procede de un taller de Jerusalén. El soplado abarató el vidrio, y en el Imperio romano se convirtió en vajilla, botellas de conserva y cristales de ventana.

En el norte de Europa, desde hacia el año 1000, los vidrieros usaron potasa de ceniza de madera en lugar de sosa. En 1291, Venecia ordenó a sus vidrieros trasladar los hornos a la isla de Murano. A George Ravenscroft, que patentó un nuevo vidrio claro en 1674, se le atribuye tradicionalmente el cristal de plomo inglés. Durante siglos, los cristales de ventana se cortaron de vidrio de corona, una burbuja abierta y girada en disco, o de cilindros soplados, abiertos y aplanados, y ambos métodos limitaban el tamaño de cada cristal. En los años cincuenta, Alastair Pilkington y Kenneth Bickerstaff desarrollaron en St Helens el proceso del vidrio flotado, en el que el vidrio fundido se extiende en una cinta plana sobre un baño de estaño fundido. Rentable hacia 1960, hoy es la forma habitual de fabricar vidrio de ventana.



Vidrio de corona: una burbuja abierta en el puntel y girada hasta formar un disco. El centro grueso donde se sujetaba la varilla es el ojo de buey.

Cifras clave

Objetos de vidrio más antiguos
Cuentas, Mesopotamia, segunda mitad del III milenio a. C.

Primeras vasijas de vidrio
Hechas sobre núcleo, finales del siglo XVI a. C.

Vidrio soplado
Segunda mitad del siglo I a. C., Mediterráneo oriental

Vidrio flotado
Vidrio que flota sobre estaño fundido, desarrollado en los años cincuenta

Fuentes

1. The history of ancient glass · Republic of Türkiye, Ministry of Culture and Tourism https://www.ktb.gov.tr/EN-120370/the-history-of-ancient-glass.html
2. Composition of Late Hellenistic to Early Roman glass vessels from the Souk excavations, Beirut (Freestone, Brems and Degryse, Rendiconti Lincei, 2025) · UCL Institute of Archaeology https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10215996/1/Freestone_s12210-025-01311-x.pdf
3. Georgius Agricola, De re metallica (1556), trans. H. C. and L. H. Hoover, Book XII · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/cache/epub/38015/pg38015.txt
4. History of glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_glass
5. Float glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Float_glass
6. Standard Glass DGG X, Soda-Lime-Silica Glass: viscosity-temperature behaviour measured by the PTB · Deutsche Glastechnische Gesellschaft https://hvg-dgg.de/fileadmin/Standard_Glass_DGG_X.pdf
7. Physical properties of glass · EAG Laboratories https://www.eag.com/app-note/physical-properties-of-glass/
8. Intraoral pressure in ethnic wind instruments (Goss, 2013), citing intraoral pressures up to 200 mbar in glassblowing · arXiv https://arxiv.org/abs/1308.5214
9. Draper point · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Draper_point

Datos verificados el 2026-10-12

Reducción del hierro

Uso más amplio hacia 1200 a. C.; mineral, carbón y horno bajo

h. 1200 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Bronce (p. 123), Carbón vegetal (p. 65)

Conduce a: Bicicleta (p. 252), Conservas y pasteurización (p. 247), Motor de combustión interna (p. 313), Brújula (p. 193), Motor eléctrico (p. 277), Generador eléctrico (p. 273), Reloj mecánico (p. 200), Imprenta (p. 204), Máquina de coser (p. 269), Máquina de vapor (p. 226), Acero (p. 140), Transformador (p. 330)

1 Fuelles 2 Tobera (boquilla de arcilla) 3 Carga de carbón vegetal y mineral 4 Pared de arcilla del horno 5 Zamarra de hierro 6 Escoria evacuada

La reducción del hierro extrae el metal del mineral calentado con carbón vegetal en un pequeño horno de arcilla alimentado con aire por fuelles. Este horno bajo suele producir una masa sólida y pobre en carbono, la zamarra, que el herrero compacta y transforma en hierro forjado.

Qué es

El hierro es uno de los elementos más comunes de la corteza terrestre y, sin embargo, casi nunca aparece en estado metálico. Se encuentra en los minerales en forma de óxidos: la hematites roja, la magnetita negra, el mineral pardo que se extrae de los pantanos. La reducción arranca el oxígeno de esos minerales y se queda con el metal.

Durante cerca de tres mil años, la herramienta para hacerlo fue el horno bajo, un horno de arcilla de alrededor de un metro de altura en el que el carbón vegetal arde bajo el aire de los fuelles. Su producto es la zamarra, un bloque

esponjoso de hierro mezclado con escoria. Martilleada en caliente, la zamarra se convierte en hierro forjado, tenaz y fácil de trabajar en la fragua. Con él se hicieron rejas de arado, clavos y espadas hasta que el alto horno se impuso en Europa a finales de la Edad Media.

Por dentro, una zamarra en bruto es una esponja de hierro y escoria. Horas de forja la convierten en una barra.

Cómo funciona

El carbón vegetal arde delante de la tobera y calienta el horno. Más arriba en la cuba, donde escasea el oxígeno, forma monóxido de carbono, y este gas le quita el oxígeno al óxido de hierro mientras asciende a través de la carga. El mineral cede su oxígeno por etapas, y la reacción se vuelve rápida por encima de unos 900 °C.

La zamarra se consolida primero en caliente con golpes ligeros; puede recalentarse entre tandas de martillado.

El horno trabaja a unos 1100 a 1200 °C y suele producir una zamarra sólida, pobre en carbono. El hierro puro funde a 1538 °C, pero el hierro rico en carbono puede fundirse a las temperaturas del horno bajo. La sílice y otros minerales de la mena se combinan con parte del óxido de hierro y forman una escoria rica en hierro que puede fluir hacia los 1180 °C, según su composición. La escoria desciende junto a la tobera, la boquilla de arcilla por la que entra el aire, mientras los granos de metal se agrupan justo debajo y forman la zamarra. La escoria sale por un arco en la base o se acumula en un foso bajo el horno.

La zamarra sale del horno incandescente y porosa, cargada de escoria y carbón. Si es frágil, puede requerir golpes suaves al principio, a veces con una maza de madera. También se puede dejar enfriar y recalentar antes de compactarla; no es imprescindible martillearla de inmediato al rojo blanco. Las sucesivas calentadas y pasadas de forja compactan el metal y expulsan buena parte de la escoria. La pérdida de peso depende de la zamarra y del método de forja. El carbono suele ser escaso y estar repartido de forma irregular, por lo que una misma zamarra puede contener hierro dulce y zonas de acero.

Cómo se construye

Lo que sigue es el esquema de una pequeña reducción, no un plano acotado. Hace falta arcilla mezclada con arena y paja, mineral, mucho carbón vegetal, fuelles o un soplador, y un equipo para toda una jornada.

Preparar el mineral. Tostarlo en un fuego abierto para expulsar el agua y volverlo quebradizo, y después partirlo en trozos de alrededor de un centímetro. Partir el carbón en trozos de unos dos centímetros y cribar el polvo para que el gas pueda circular por la carga.

Levantar la cuba. Sobre suelo seco, alzar un cilindro de arcilla de cerca de un metro de alto y 25 a 30 cm de diámetro interior, con paredes de varios dedos de grosor. Dejar un orificio cerca de la base para la tobera y un arco

que se pueda abrir y volver a cerrar con arcilla. Dejarlo secar despacio durante varios días y terminar con un fuego pequeño en su interior.

Precalentar y cargar. Llenar la cuba de carbón y suministrar aire hasta que brille en toda su altura. En los ensayos del WIRG se añaden cargas de unos 1 kg de mineral y 1 kg de carbón cada 10–15 minutos, con un total declarado de 15–20 kg de cada material por reducción. Son 15–20 cargas dobles, que equivalen a unas 2,5–5 horas a ese ritmo, sin suponer cinco horas continuas de carga. La duración declarada de unas cinco horas incluye la combustión final; el precalentamiento va aparte. Reservar carbón adicional para precalentar y para la última carga de carbón solo: las cargas dobles no cubren todo el combustible necesario.

Regular el aire. Vigilar la temperatura y el descenso de las cargas, y ajustar el aire para mantener la reducción y el flujo de escoria. La absorción de carbono depende de la proporción de carbón y mineral, la atmósfera del horno, el tiempo de permanencia y la química de la escoria. Un mayor caudal de aire por sí solo no permite prever la formación de hierro colado: algunos ensayos obtuvieron hierro con menos carbono al aumentar el aire. Sangrar la escoria según se acumule; el WIRG indica un primer sangrado después de unas tres horas.

Extraer y compactar. Tras consumirse la última carga, abrir el frente y sacar la zamarra con tenazas. Si es frágil, empezar con golpes suaves, por ejemplo con una maza de madera, y aumentar la fuerza cuando se mantenga unida. También se puede enfriar y recalentar antes de compactarla. Recalentar en la fragua entre pasadas hasta obtener una barra cohesionada.

> **Seguridad.** Un horno bajo supera los 1100 °C. La escoria líquida causa quemaduras profundas e incendios. Trabajar al aire libre, sobre suelo desnudo y seco, lejos de la hierba seca, con arena seca a mano. Mantener secos los útiles y el suelo donde cae la escoria. Nunca permitir que el agua toque escoria caliente o líquida ni que entre en el horno caliente: la formación repentina de vapor puede causar una explosión. Llevar botas de cuero, guantes, mandil y protección ocular, y no situarse delante del arco de sangrado. Por la boca sale monóxido de carbono: mantener la cara apartada y no hacer reducciones en espacios cerrados. La arcilla o el mineral húmedos pueden reventar al calentarse.

Historia y evolución

Se trabajó el hierro antes de saber reducirlo. Algunos de los objetos de hierro más antiguos se hicieron a martillo con hierro de meteoritos, que contiene níquel. Hay indicios de reducciones tempranas en Anatolia, en la actual Turquía, aunque el lugar y la fecha de la invención siguen siendo inciertos. Entre los fragmentos de Kaman-Kalehöyük fechados hacia 1800 a. C. hay algo de acero al carbono, y lo desigual de su carbono hace pensar en herreros que todavía estaban experimentando. Hacia 1250 a. C., el rey hitita Hattusili III escribió una carta sobre la fabricación de «buen hierro».

Hacia 1200 a. C. se amplía el uso del hierro en Oriente Próximo, con ritmos distintos según la región. La reducción ya se conocía antes. Hacia 1100 a. C. era habitual en Chipre y el Levante, la mayor parte de Europa lo usaba desde alrededor de 800 a. C., y hacia 500 a. C. el horno bajo se conocía desde el Mediterráneo hasta Escandinavia. A diferencia del cobre y el estaño del bronce, el mineral de hierro podía extraerse casi en cualquier parte.

África tuvo sus propias tradiciones, con hornos en Nubia ya en el siglo VII a. C. y en África occidental como muy tarde en el VI. China probablemente aprendió del oeste la reducción en horno bajo hacia el siglo VIII a. C., y pronto pasó a hornos lo bastante calientes para obtener hierro colado líquido.

Durante siglos, las zamarras europeas pesaron unos dos kilos, lo justo para poder forjarlas a mano. Los hornos romanos, de hasta dos metros de altura, daban zamarras de 10 a 15 kg, y hacia 1500 los martinetes movidos por agua podían trabajar zamarras de 100 kg o más. El alto horno de Lapphyttan, en Suecia, ya funcionaba desde

mediados del siglo XII. Los altos hornos se extendieron más durante los siglos medievales siguientes y hacia 1500 producían hierro colado en grandes cantidades; los hornos bajos fueron perdiendo terreno. Las forjas catalanas de España y del sur de Francia seguían funcionando a mediados del siglo XIX.

Fuelles de vasija: al bombear por turnos las cubiertas de cuero, el aire fluye sin interrupción.

Cifras clave

Temperatura del horno
Unos 1100–1200 °C (el hierro puro funde a 1538 °C)

Carga
En ensayos del WIRG, unos 1 kg de mineral y 1 kg de carbón por carga, cada 10–15 minutos

Duración de una reducción
Unas 5 horas de carga y combustión final en los ensayos del WIRG; precalentamiento aparte

Tamaño de la zamarra
Unos 2 kg a comienzos de la Edad del Hierro, 10–15 kg en los hornos romanos

Adopción más amplia
Hacia 1200 a. C. en Oriente Próximo; la reducción es anterior

Fuentes

1. Bloomery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bloomery
2. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
3. Experimental Bloomery 4: The smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/?p=930
4. Questioning Diversity (of Iron) in the Workplace: Bloomery Iron, Cast Iron, China and the West (Liu & Wood, 2025) · Internet Archaeology 69 https://www.intarch.ac.uk/journal/issue69/14/full-text.html
5. Kaman-Kalehöyük · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kaman-Kaleh%C3%B6y%C3%BCk
6. The explosion of No. 5 Blast Furnace, Corus UK Ltd, Port Talbot · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/web34.pdf
7. Lee Sauder and Skip Williams Smelt Iron · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/advanced/aa_2_5.html
8. Experimental Bloomery Ironmaking: The Bloom · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/bloom.htm
9. Experimental Bloomery Ironmaking: The Smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/smelt.htm
10. Medieval Iron in Society (Rapport H 34) · Jernkontoret https://www.jernkontoret.se/en/publications/history-of-mining-and-metallurgy1/Publications/rapport-h-34/
11. The Innovation and Adoption of Iron in the Ancient Near East (Erb-Satullo, 2019) · Journal of Archaeological Research, Springer Nature https://link.springer.com/article/10.1007/s10814-019-09129-6
12. Flow Rates · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://www.warehamforge.ca/ironsmelting/flowrates.html
13. Experimental Iron Smelting: Norse Bellows Air · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://warehamforge.ca/ironsmelting/norse-air.html
14. The St Fagans Experimental Bloomery: the First Six Years (Young, 2005) · Historical Metallurgy Society News 59 https://historicalmetallurgy.org/media/pjwd2b5o/hmsnews59.pdf

Datos verificados el 2026-10-12

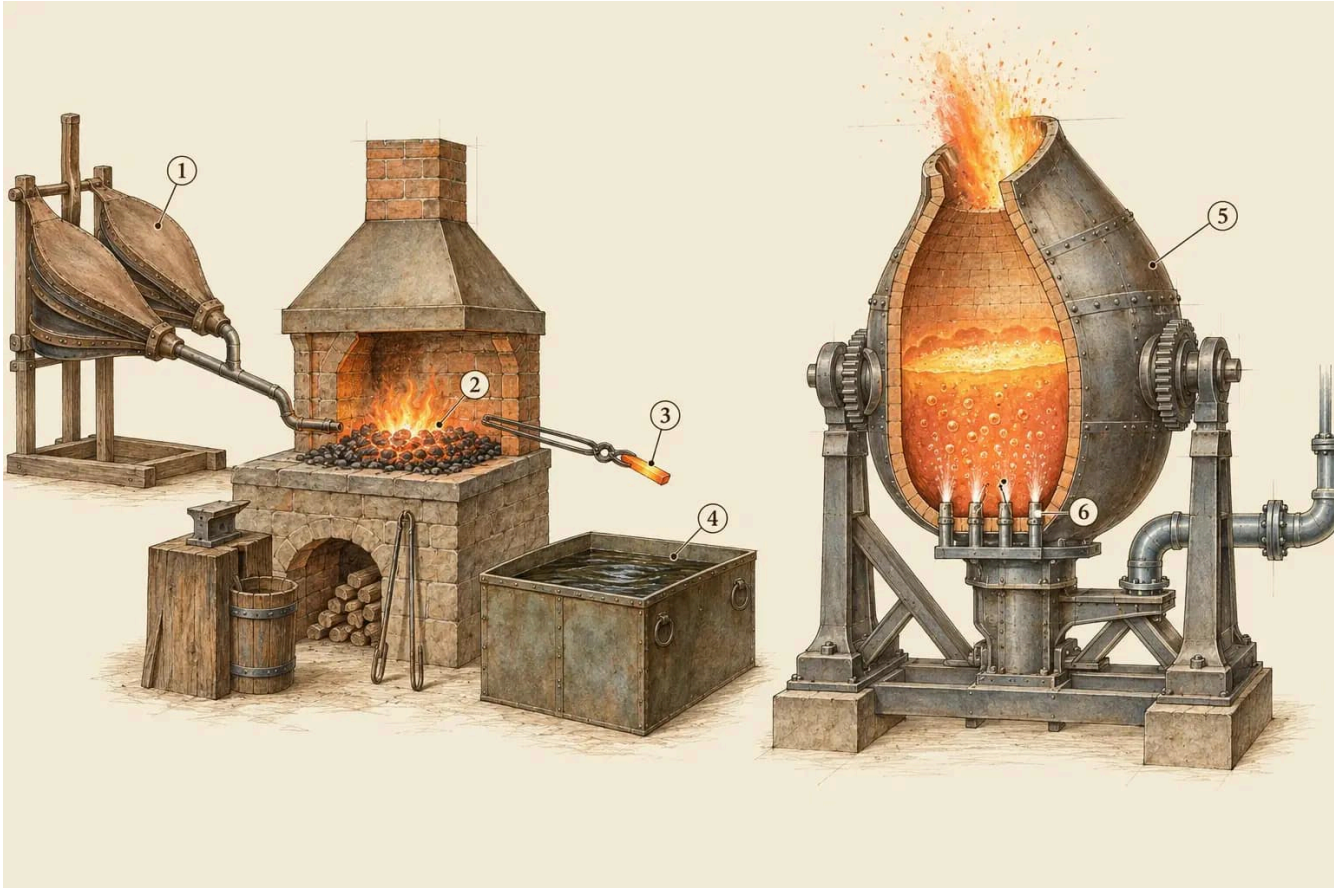
Acero

Hierro con el carbono justo

h. 1000 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Reducción del hierro (p. 136), Carbón vegetal (p. 65)

Conduce a: Motor de combustión interna (p. 313), Brújula (p. 193), Imprenta (p. 204), Hormigón armado (p. 308), Máquina de coser (p. 269), Turbina de vapor (p. 325), Turbina hidráulica (p. 264), Aerogenerador (p. 339)



1 Fuelles 2 Fragua 3 Acero caliente sujeto con tenazas 4 Tina de temple 5 Convertidor Bessemer 6 Toberas de aire en el fondo del convertidor

El acero es hierro con una pequeña proporción de carbono, controlada, casi siempre entre un 0,1 y un 1,5 %. Se forja en caliente; con bastante carbono se endurece calentándolo y templándolo, y el revenido lo hace después más tenaz a costa de algo de dureza.

Qué es

El hierro puro es blando: un cuchillo hecho con él se dobla y pierde pronto el filo. Si se le añade un poco de carbono, desde unas décimas por ciento hasta un uno y medio, el metal se sigue forjando en caliente. Con suficiente carbono, al calentarlo y sumergirlo en agua o aceite se vuelve lo bastante duro para cortar hierro. Esa aleación es el acero.

Por su carbono está a medio camino entre otros dos materiales. El hierro forjado casi no tiene carbono: es tenaz y se suelda bien, pero no se endurece. El hierro fundido contiene del 2 al 4 %: se cuela en moldes, pero es

quebradizo y no admite la forja. El acero, en cambio, pasa de duro a tenaz según cómo lo caliente y lo enfríe el herrero. Hoy es, con mucha diferencia, el metal más usado.

Cómo funciona

Los átomos de carbono son pequeños y se alojan en los huecos entre los de hierro. El hierro frío admite muy poco carbono, y el sobrante forma carburo de hierro, muy duro. En un acero enfriado despacio, ese carburo se ordena en láminas finas alternadas con hierro blando, una mezcla resistente que todavía se puede limar.

Por encima de unos 727 °C, el cristal de hierro empieza a reorganizarse en una forma que disuelve el carbono, y cuando el cambio termina el imán deja de atraerlo. La temperatura y el tiempo de mantenimiento necesarios para disolver bastante carburo dependen de cada acero. Si se enfría despacio, el carbono vuelve a salir en forma de carburo. Si se templa, no le da tiempo: queda atrapado en un cristal deformado, la martensita, muy dura y frágil como el vidrio.

Por eso se hace el revenido: se vuelve a calentar el acero entre unos 200 y 350 °C, lo que alivia la tensión y lo vuelve mucho más tenaz a costa de algo de dureza. Sobre el acero pulido se forma una fina capa de óxido cuyo color sigue a la temperatura, del pajizo pálido hacia 210 °C al azul oscuro hacia 290 °C, pasando por el pardo y el púrpura. Esos colores, que dependen también del tiempo y del estado de la superficie, fueron durante siglos la guía aproximada del herrero: pajizo para una navaja de afeitar o un formón, púrpura o azul para un muelle. El recocido, que calienta y luego enfría muy despacio, deja en cambio el estado más blando, fácil de serrar y limar.

Al calentar el cuerpo de la herramienta, los colores avanzan hacia el filo; el herrero la enfría cuando llega el color buscado.

Por debajo del 0,3 % de carbono, más o menos, el acero apenas se endurece; con más carbono queda más duro y aguanta peor los golpes. Un hierro metido entre carbón vegetal y mantenido al rojo durante horas absorbe carbono por la superficie. Si después se templa, adquiere una piel dura sobre un núcleo tenaz: es la cementación seguida de temple.

Cómo construirlo

El tratamiento térmico es la parte de la siderurgia que está al alcance de un taller pequeño. Conviene partir de una barra de acero de herramientas sin alear, con mucho carbono y de calidad conocida, y guardar la ficha del proveedor, que indica las temperaturas, los tiempos de mantenimiento y el medio de temple exactos. Una lima vieja es la fuente tradicional, pero su acero es desconocido y algunas limas baratas solo están endurecidas en la superficie.

Ablandar y dar forma. Recocer la barra como indique su ficha. El método tradicional, llevarla al rojo oscuro y dejarla enfriar toda la noche en ceniza de leña, es solo aproximado. Amolar la barra ya blanda en forma de pequeño botador o cortafrío, sin dejar que se caliente.

Templar. Calentar por igual el extremo de trabajo en un fuego de carbón vegetal o con un soplete de gas. La señal antigua es que el imán deje de pegarse, y un poco más de calor, hasta el rojo cereza visto a la sombra, pero la temperatura y el tiempo que da la ficha son más fiables. Sumergir la pieza recta y entera en el medio de temple que indique, casi siempre aceite para una herramienta pequeña, en un baño de varios litros mantenido muy por debajo de su punto de inflamación. Mover la pieza arriba y abajo hasta que se enfríe.

Comprobar. Una lima nueva pasada sobre el extremo templado debe resbalar sin morder. Si muerde, puede que solo la superficie haya perdido carbono en el fuego o que el temple haya fallado: amolar un punto pequeño hasta dejarlo brillante y volver a probar antes de calentar de nuevo.

Revenir enseguida. La ficha indica la temperatura y el tiempo de revenido, que un horno mantiene mejor: un ciclo habitual es una hora a temperatura, un enfriamiento hasta la temperatura ambiente y una segunda hora. El método tradicional es más rápido y solo aproximado. Pulir el extremo con lija hasta dejar el metal brillante, calentar despacio el cuerpo y mirar cómo avanzan los colores hacia la punta. Enfriar la herramienta cuando el pardo o el púrpura, hacia 260–270 °C, llegue al filo de un cortafrío, o el pajizo, hacia 220 °C, al de un formón.

> **Seguridad.** El calor de la fragua causa quemaduras profundas, y el acero por debajo del rojo parece frío aunque no lo esté: hay que tratar cada pieza como si quemara. Usar gafas de protección, con una pantalla facial encima al templar, guantes de cuero para manejar piezas calientes pero nunca en la amoladora, calzado de cuero y ropa de algodón o lana. Trabajar al aire libre o con buena ventilación, porque la fragua desprende monóxido de carbono y el aceite caliente, humo. Tener a mano un recipiente metálico para el aceite con tapa metálica, y sumergir la pieza entera y deprisa, lo que limita las llamaradas. Si arde, cerrar la tapa; no echar nunca agua sobre aceite en llamas ni dejar que entre agua en aceite caliente. Tener cerca un extintor de polvo. No golpear, doblar, dejar caer ni intentar romper nunca un acero templado sin revenir: puede estallar y lanzar esquirlas cortantes.

Historia y evolución

Unos fragmentos de Kaman-Kalehöyük, en Anatolia, de hacia 1800 a. C., ya contienen acero, probablemente por accidente. Un pico de minero del monte Adir, en Galilea, fechado durante mucho tiempo en el siglo XII a. C., muestra una estructura templada y ligeramente revenida, pero su fecha se ha puesto en duda. Ningún hallazgo fija el comienzo de la fabricación deliberada de acero. Esta lámina toma por convención la fecha de hacia 1000 a. C., la época en que el hierro pasó al uso común en el Levante, entre 1100 y 900 a. C., aproximadamente.

Un crisol roto tras la cocción y la torta de acero que contenía.

En el sur de la India, el hierro se encerraba en crisoles de arcilla con materia rica en carbono y se fundía en tortas uniformes con un 1 a 1,5 % de carbono; los crisoles de Kodumanal, en Tamil Nadu, son de hacia el siglo II a. C. Ese acero de crisol, al que los europeos llamaron después wootz, es el de las hojas con dibujos conocidas como acero de Damasco. En Sri Lanka, hornos en laderas soplados por el monzón produjeron acero entre los siglos VII y XI, quizá para el comercio por el océano Índico.

China siguió otro camino distinto. Una tumba del estado de Yan, de comienzos del siglo III a. C., contiene ya acero templado, pero el hierro chino era entonces sobre todo hierro fundido. Al quitarle carbono se obtenían metales más blandos: mantenido caliente al aire durante días, o removido en un hogar de afino bajo el soplo de los fuelles, el hierro fundido se convertía en acero o en hierro dulce. Los hogares de afino excavados son del siglo I a. C.

La Europa moderna recurrió a la cementación, desarrollada primero en Alemania. En Derwentcote, en Inglaterra, desde hacia 1730, barras de hierro sueco enterradas en carbón vegetal pasaban de seis a diez días a más de 1100 °C; el acero ampollado se reunía luego en paquetes que se soldaban en la fragua para igualarlo. Hacia 1740, el relojero Benjamin Huntsman fundió acero ampollado en crisoles y lo coló en un acero homogéneo.

En 1856, Henry Bessemer insufló aire a través de arrabio fundido: el carbono y el silicio ardieron y su calor mantuvo líquido el metal. En la década de 1860 llegaron los hornos Martin-Siemens. En 1952, en Linz (Austria), empezaron a funcionar convertidores soplados con oxígeno puro; todavía producen la mayor parte del acero, y los hornos eléctricos, alimentados sobre todo con chatarra, alrededor del 29 %.

En la caja de cementación, las barras pasan una semana o más entre carbón y salen cubiertas de ampollas.

Cifras clave

Carbono

Entre el 0,1 y el 1,5 %, aproximadamente; el hierro forjado tiene menos y el hierro fundido, del 2 al 4 %

Colores de revenido

Pajizo hacia 220 °C, púrpura hacia 270 °C, azul oscuro hacia 290 °C

Producción mundial en 2024

Unos 1900 millones de toneladas, el 29 % en hornos eléctricos

Calor de temple

La transformación empieza hacia 727 °C; cada calidad tiene su temperatura de temple y su tiempo de mantenimiento a temperatura

Soplado Bessemer

Unas 15 toneladas de arrabio convertidas en acero en 10–20 minutos

Fuentes

1. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
2. A Brief History of Martensites · Sethna group, Cornell University https://sethna.lassp.cornell.edu/Tweed/Martensite_History.html
3. The Transition from Bronze to Iron in Canaan: Chronology, Technology, and Context (Yahalom-Mack & Eliyahu-Behar, 2015) · Radiocarbon, Cambridge University Press https://doi.org/10.2458/azu_rc.57.18563
4. Early iron in China, Korea, and Japan (Wagner) · Donald B. Wagner https://donwagner.dk/KoreanFe/KoreanFe.html
5. Crucible steel in South India: preliminary investigations on crucibles from some newly identified sites (Srinivasan & Griffiths) · MRS Online Proceedings Library, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-online-proceedings-library-archive/article/abs/crucible-steel-in-south-indiapreliminary-investigations-on-crucibles-from-some-newly-identified-sites/0C7F9DB996F0DD5758502D8F62201947
6. Wootz Crucible Steel: A Newly Discovered Production Site in South India (Srinivasan, 1994) · Papers from the Institute of Archaeology, UCL https://student-journals.ucl.ac.uk/pia/article/id/164
7. Wind-Powered Furnaces · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9609/newsbriefs/srilanka.html
8. History of Derwentcote Steel Furnace · English Heritage https://www.english-heritage.org.uk/visit/places/derwentcote-steel-furnace/history/
9. A Crucible of Steel History · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/blog/a-crucible-of-steel-history
10. Bessemer Process · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Bessemer_Process
11. Bessemer Converter · Sheffield Museums https://www.sheffieldmuseums.org.uk/whats-on/bessemer-converter/
12. The history of LD steelmaking: back to the roots · Primetals Technologies https://www.primetals.com/en/metals-magazine/the-history-of-ld-steelmaking-back-to-the-roots/
13. 60 years of the Linz-Donawitz (LD) process · voestalpine https://www.voestalpine.com/stahl/en/Stories/60-years-of-the-Linz-Donawitz-LD-process
14. The share of EAF in global steel production in 2024 increased to 29.1% (worldsteel data) · GMK Center https://gmk.center/en/news/the-share-of-eaf-in-global-steel-production-in-2024-increased-to-29-1/
15. Austenitizing, Magnetism, and Heat Treating · Larrin Thomas, Knife Steel Nerds https://knifesteelnerds.com/2019/03/18/magnet-heat-treating/
16. Steel Tempering Temperatures: Colour Chart · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/technical-information/steel-heat-treatment/tempering-temperatures

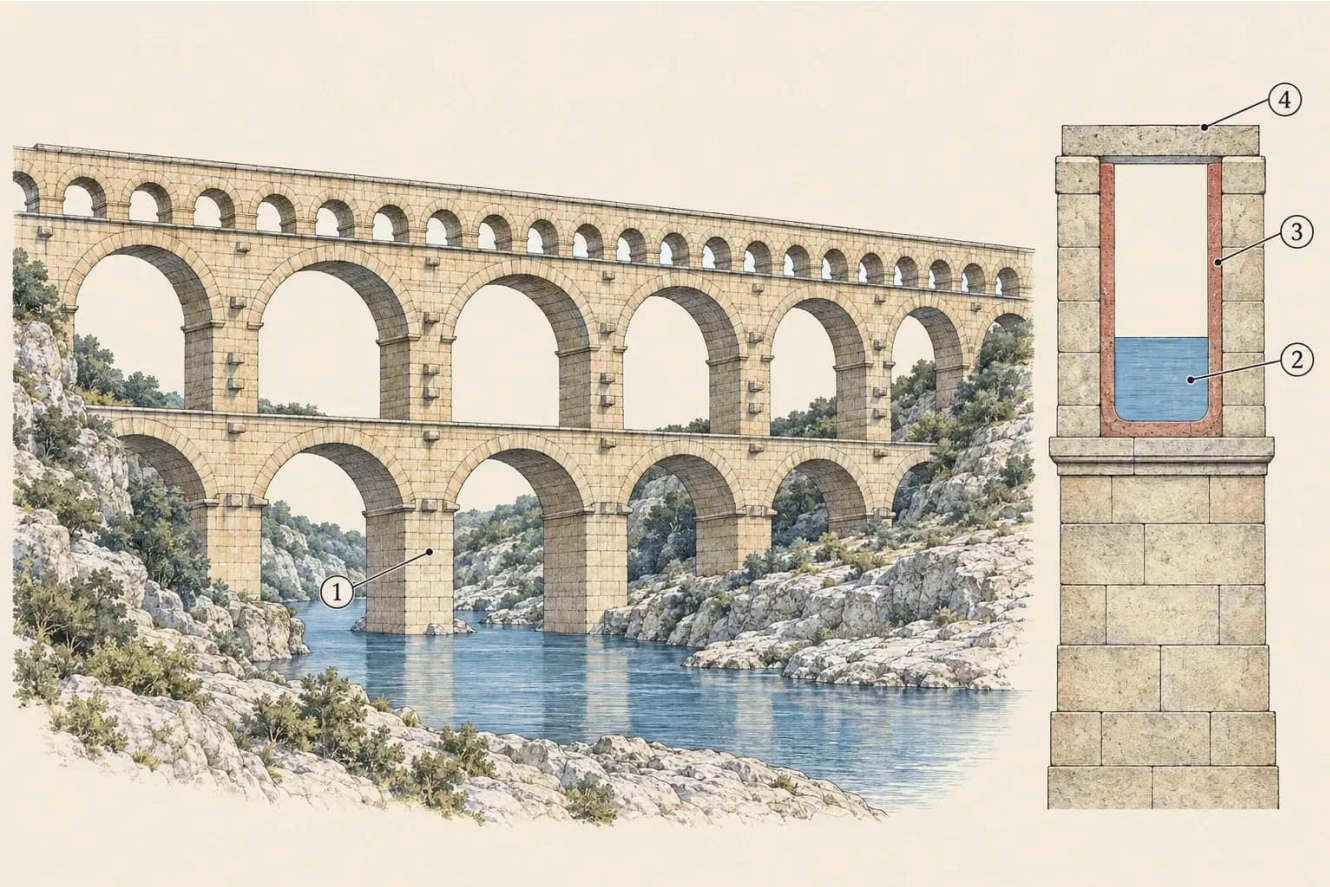
Datos verificados el 2026-10-14

Acueducto

Agua llevada solo por la gravedad

h. 690 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Ladrillos (p. 40), Medidas y patrones (p. 127), Cal y mortero de cal (p. 31), Riego (p. 52), Arco y bóveda (p. 73)



1 Arquerías (pilas y arcos) 2 Canal (specus) 3 Revestimiento impermeable (opus signinum) 4 Losas de cubierta

Un acueducto lleva el agua de un manantial lejano hasta una ciudad por un canal que baja muy poco a poco en todo su recorrido, de modo que la gravedad basta para mantener el agua en movimiento. Los romanos construyeron cientos, en túnel, en zanja cubierta o sobre arquerías como el Pont du Gard, y algunos transportaban decenas de miles de metros cúbicos al día.

Qué es

Un acueducto es un curso de agua artificial que conduce el agua desde una fuente hasta el lugar donde se usa. Casi todo su trazado queda oculto: un canal de piedra o de hormigón, cubierto, que avanza por una zanja o un túnel a media ladera. Las altas arquerías que uno imagina primero son solo los puntos donde el canal tenía que cruzar un valle sin perder altura.

La lámina muestra uno de esos cruces, del tipo construido sobre el río Gardon, cerca de Nimes, en el siglo I d. C. El canal corre por lo alto del piso superior.

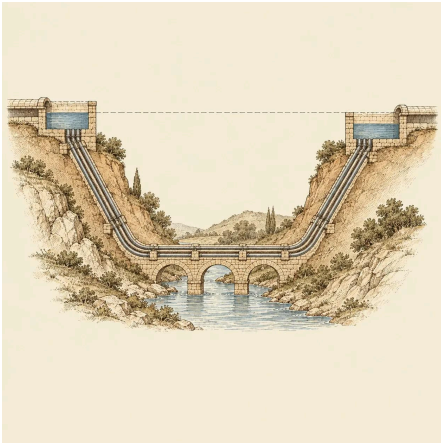
Cómo funciona

Donde el agua corre por un canal abierto, como ocurre en la mayor parte de un acueducto, el canal debe bajar sin interrupción desde el manantial hasta la ciudad, sin volver a subir y sin caer demasiado deprisa. Con poca pendiente, el agua se frena y deja su limo; con demasiada, desgasta el revestimiento. El acueducto de Nimes, de unos 50 km, pierde solo de 12 a 13 m entre la fuente y la ciudad (las mediciones varían un poco), unos 25 cm por kilómetro de media, y bastante menos en algunos tramos. Sobre el propio Pont du Gard la caída es de pocos centímetros.

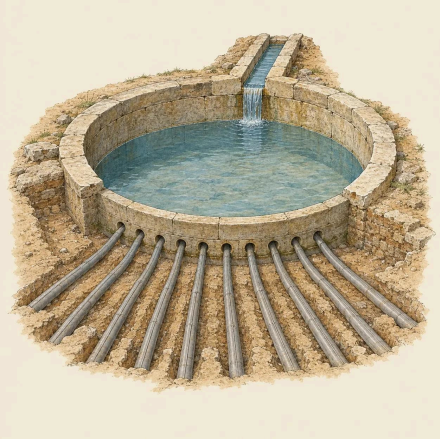
El canal, llamado specus, solía tener la anchura de un hombre y algo más de altura, para que los operarios pudieran entrar a limpiarlo. El suelo y las paredes llevaban opus signinum, un mortero de cal con teja y cerámica machacadas que endurece y no deja pasar el agua. Unos rebordes redondeados al pie de los muros cerraban las esquinas, que es por donde empiezan las fugas. Losas de piedra o una bóveda tapaban el conjunto, impedían la entrada de suciedad y de sol y evitaban que el agua se calentara.

Trazar una pendiente así a lo largo de decenas de kilómetros era trabajo de agrimensores. Vitruvio, a finales del siglo I a. C., describe el corobate, una larga mesa de madera cuyas plomadas, o con viento una ranura llena de agua, indican si está nivelada. Con ella y con jalones de mira, un equipo llevaba una línea de nivel a través de todo el paisaje y marcaba la pendiente en estacas.

Los valles profundos también podían salvarse con un sifón invertido. El agua entraba en un depósito en la primera ladera, bajaba por tubos de plomo estancos, cruzaba el fondo del valle sobre un puente bajo y subía por la ladera opuesta hasta un segundo depósito situado un poco más abajo. Vitruvio ya describe este dispositivo y llama venter, el vientre, al largo tramo casi horizontal que cruza el fondo del valle. El sifón ahorraba mampostería, pero el plomo era caro y las juntas tenían que resistir mucha presión. Según la traducción habitual, su texto prevé también respiraderos para que escape el aire atrapado, aunque el sentido exacto del término que usa es discutido. Para las conducciones corrientes prefería el barro cocido, porque creía que el agua que pasaba por el plomo era perjudicial para la salud.



Un sifón invertido: el agua vuelve a subir por la otra ladera, pero nunca hasta su nivel de partida.



El depósito de reparto circular de Nimes, del que salían diez tubos de plomo hacia los barrios.

En la ciudad, el agua llegaba a un depósito de reparto, el castellum. Vitruvio describe uno dividido en tres, con salidas separadas para las fuentes públicas, las termas y las casas particulares, dispuesto de forma que las fuentes fueran las últimas en quedarse sin agua. El que se conserva en Nimes es un depósito redondo de unos 5,5 m de diámetro, del que diez tubos de plomo salían hacia los barrios. El agua corría día y noche; la que no se usaba seguía su camino para limpiar las cloacas. Vitruvio añade que las cuotas que pagaban los particulares debían costear el mantenimiento del acueducto. Para Nimes, las estimaciones del caudal van de unos 20 000 a 40 000 m^3 diarios, y el agua tardaba alrededor de un día en llegar desde el manantial.

Cómo construirlo

Los grandes acueductos romanos exigían dinero público, agrimensores expertos y cuadrillas numerosas. A escala de huerto, los mismos principios permiten llevar sin bomba el agua de un manantial o de un depósito de lluvia hasta una charca o un bancal.

Tomar los niveles. Marque la fuente y el punto de llegada y mida la diferencia de altura. Un tubo de plástico transparente lleno de agua sirve de corobate moderno: el agua queda a la misma altura en los dos extremos. Clave estacas cada pocos metros a lo largo del trazado y anote la altura de cada una.

El corobate: una mesa de nivelación de unos 20 pies romanos, comprobada con plomadas o con agua en una ranura.

Elegir la pendiente. Un canal liso con agua limpia suele necesitar unos pocos milímetros de caída por metro; dimensiónelo para el caudal previsto y evite tramos empinados donde el agua correría demasiado. Reparta la caída tan por igual como permita el terreno y prefiera un rodeo siguiendo la curva de nivel antes que una loma donde el agua se detendría.

Excavar y colocar el canal. Abra la zanja hasta las profundidades marcadas, apisone el fondo y coloque el canal: medias cañas de barro cocido, una acequia de obra revestida con mortero de cal hidráulica o de cemento, que se deja fraguar antes de dar paso al agua, o un simple tubo. Compruebe la pendiente con el tubo de agua en cada unión. Si es de obra, selle las juntas y redondee las esquinas interiores.

Añadir un desarenador. Justo después de la fuente, construya un pequeño depósito donde el agua se frene y deje la arena antes de entrar en el canal. Ponga una rejilla contra las hojas y un aliviadero para que una crecida no rompa la obra.

Cubrirlo. Tape el canal con losas o tejas. El agua cubierta se mantiene más limpia y más fresca, y en ella crecen menos algas.

> **Seguridad.** Las paredes de una zanja pueden derrumbarse, sobre todo en terreno suelto o húmedo: entíbelas o atalúcelas antes de trabajar en una zanja profunda, y no trabaje nunca solo dentro. No use tubos ni soldadura de plomo para agua que vayan a beber personas o animales, y considere la instalación como agua no potable: no la beba. El mortero de cal es cáustico: use guantes y gafas, y mascarilla antipolvo al mezclar la cal en seco. Cualquier depósito abierto supone un riesgo de ahogamiento para los niños pequeños: vállelo o cúbralo. Levantar arcos o muros por encima de la cabeza es trabajar en altura con piedras pesadas: use un andamio en condiciones y pida consejo a un albañil.

Historia y evolución

Las conducciones de agua son mucho más antiguas que Roma. El rey asirio Senaquerib mandó construir, aproximadamente entre 703 y 690 a. C., un canal que llevaba agua a Nínive; en Jerwan cruzaba un valle sobre un puente de caliza de más de 280 m, a menudo considerado el puente acueducto más antiguo conocido.

El primer acueducto de Roma, el Aqua Appia, se empezó en el 312 a. C. bajo el censor Apio Claudio el Ciego, que también trazó la Vía Apia. Medía unos 16,5 km y discurría casi por completo bajo tierra. Le siguieron el Anio Vetus en el 272 a. C., el Aqua Marcia en el 144 a. C., de más de 90 km, y el Aqua Claudia y el Anio Novus, terminados en el

52 d. C. A finales del siglo I, el emperador Nerva nombró a Frontino comisario de aguas; su tratado enumera nueve acueductos que servían a la ciudad, con sus longitudes y los fraudes que descubrió.

El Pont du Gard se construyó probablemente entre los años 40 y 60 d. C., aunque algunos estudios amplían el margen hasta el 80. Sus tres pisos tienen 6, 11 y 35 arcos; otros 12 del piso superior se han perdido. Los grandes sillares de caliza de sus arcos, algunos de hasta 6 toneladas, están colocados sin mortero. El acueducto de Nimes dejó de funcionar a medida que los depósitos y las raíces lo obstruían, probablemente hacia el siglo VI. El puente sobrevivió en parte porque se usaba para cruzar el río; en 1743-1747 Henri Pitot adosó un puente de carretera a su piso inferior, y es Patrimonio Mundial desde 1985.

Ciudades y monasterios medievales construyeron acueductos más modestos, y los sistemas modernos combinan canales y túneles por gravedad con tuberías a presión, bombas y depósitos. Una pendiente suave y constante sigue rigiendo hoy canales, alcantarillas y otras conducciones por las que el agua corre por gravedad.

Cifras clave

Primer acueducto de Roma
Aqua Appia, 312 a. C., unos 16,5 km, casi todo subterráneo

Pont du Gard
Unos 48 m de alto, tres pisos de arcos, construido hacia 40-60 d. C.

Acueducto de Nimes
Unos 50 km de largo para un desnivel de 12 a 13 m (unos 25 cm por km)

Caudal estimado en Nimes
Entre unos 20 000 y 40 000 m^3 al día (las estimaciones varían)

Fuentes

1. Jerwan Aqueduct · Columbia University, Media Center for Art History https://mcid.mcah.columbia.edu/mapping-mesopotamian-monuments/jerwan-aqueduct
2. Frontinus, De aquis urbis Romae, Book I (trans. R. H. Rodgers) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Frontinus/De_Aquis/Rodgers/1**.html
3. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book VIII · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/8*.html
4. Pont du Gard · Structurae https://structurae.net/fr/ouvrages/pont-du-gard
5. Nîmes: the castellum · Archaeology Magazine (Archaeological Institute of America) https://archive.archaeology.org/onsite/provence/nimes2.html
6. Pont du Gard · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
7. Roman hydraulic engineering: the Pont du Gard aqueduct and Nemausus (Nîmes) castellum (Water, 2021) · MDPI https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/54
8. Hydraulics of Roman aqueducts: myths, fables, realities · University of Queensland (H. Chanson) https://staff.civil.uq.edu.au/h.chanson/rom_aq.html
9. Pont du Gard · Wikipédia https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
10. Manning's n table (after Chow, Open-channel hydraulics, 1959) · San Diego State University (V. M. Ponce) https://ponce.sdsu.edu/open_channel_hydraulics_05_manningsntable.html

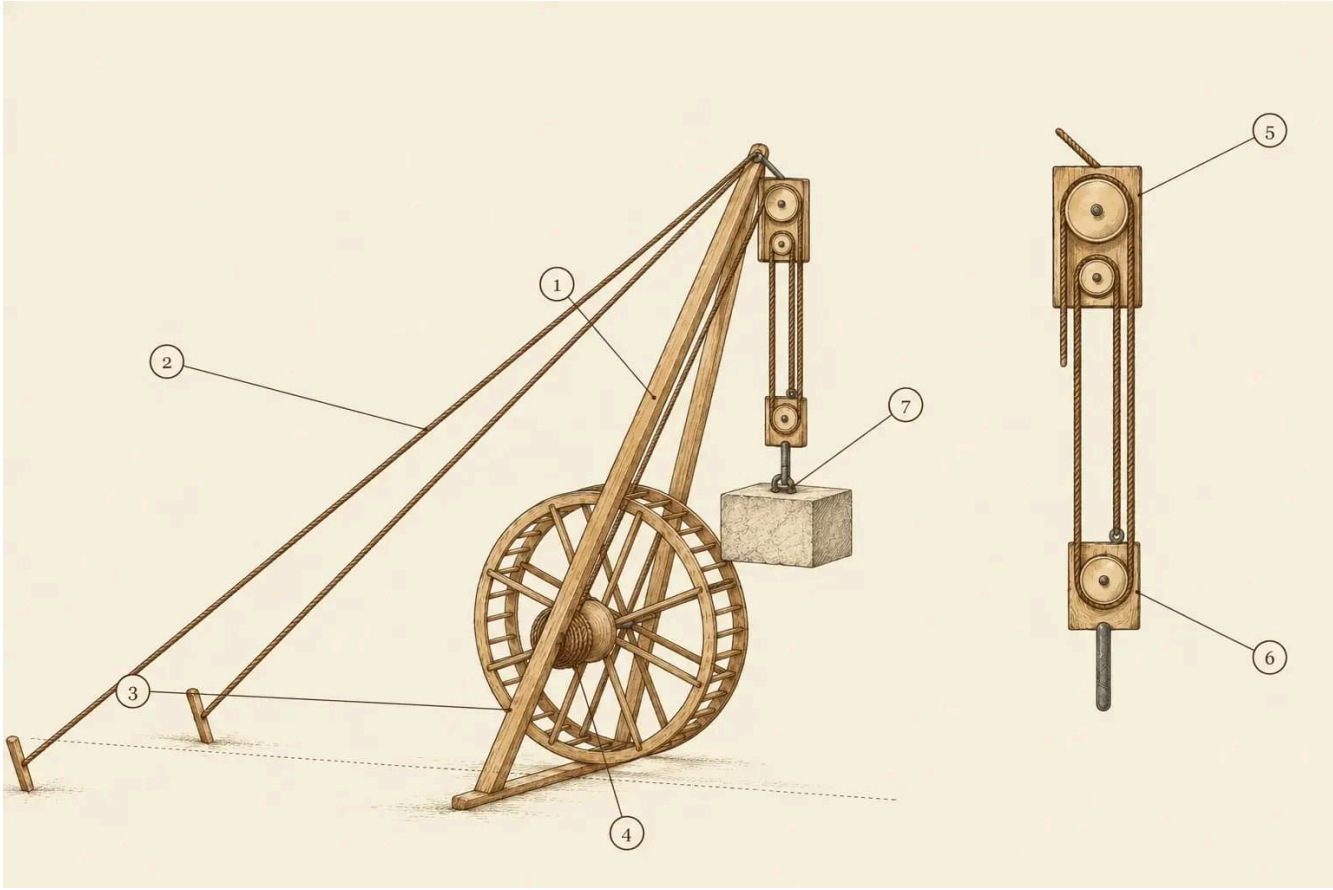
Datos verificados el 2026-10-12

Grúa y polea

Levantar más de lo que uno pesa

h. 515 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Cuerda y cordaje (p. 13), Rueda y eje (p. 81)



1 Pata del armazón de madera 2 Viento 3 Rueda de pisar 4 Tambor 5 Cuadernal superior de dos roldanas 6 Motón inferior de una roldana 7 Castañuela encajada en la piedra

Una grúa levanta una carga cambiando distancia por fuerza: una cuerda pasa por varias poleas y se enrolla en un tambor movido por un torno o una rueda de pisar, de modo que unas pocas personas alzan una piedra varias veces más pesada que ellas. Los constructores griegos la usaban desde finales del siglo VI a. C., y los romanos y medievales la usaron para levantar templos y catedrales y para cargar barcos.

Qué es

Una grúa es una estructura que sostiene una carga en el aire mientras personas o máquinas la levantan. La grúa antigua tenía tres partes: un armazón de madera o un mástil sujeto con vientos, un juego de poleas en lo alto y un torno al pie. El torno era un eje horizontal que se giraba con palancas, o una gran rueda por dentro de la cual caminaban hombres: la rueda de pisar.

Cada una de sus partes, la palanca, la rueda y la cuerda, es más antigua que la grúa. La grúa las combina para que la pequeña fuerza de unas pocas personas, aplicada a lo largo de mucho recorrido, se convierta en una gran fuerza en un recorrido corto.

Cómo funciona

Una sola polea fija no hace más que cambiar la dirección del tiro. La ganancia aparece cuando la carga cuelga de una polea móvil. La cuerda la sostiene entonces por dos ramales, y cada uno soporta la mitad del peso. Para subir la piedra un metro hay que tirar de dos metros de cuerda, pero con la mitad de esfuerzo.

El aparejo más sencillo: dos ramales sostienen la polea móvil y basta tirar con la mitad del peso.

Si se añaden poleas a los dos motones, la carga se reparte entre más ramales. Vitruvio, a finales del siglo I a. C., da nombre a los aparejos según su número de poleas: tres en el trispastos, cinco en el pentaspastos y muchas en el polyspastos. Con cinco ramales, un tiro igual al peso de 20 kg sostiene unos 100 kg, sin contar el rozamiento. El rozamiento en los ejes de las poleas se come parte de la ganancia, y más cuantas más poleas se añaden.

El torno multiplica la fuerza una segunda vez. Una cuerda enrollada en un eje delgado que se gira con palancas largas actúa como un torno de rueda: si las palancas miden diez veces el radio del eje, la fuerza en la cuerda es diez veces la que se hace en las palancas. La rueda de pisar funciona igual, y el esfuerzo es el peso de los hombres que caminan dentro. Para cargas muy pesadas, Vitruvio describe un tambor lo bastante ancho para que los hombres caminen dentro, más potente que un cabrestante.

Tenazas de izar griegas: al tirar de la anilla, las puntas se aprietan en las muescas talladas en el bloque.

Además hay que sujetar la carga. Los constructores griegos tallaban en los sillares agujeros o canales en U para las cuerdas, usaban tenazas de hierro cuyas puntas entraban en agujeros laterales o metían una castañuela, una cuña de hierro en cola de milano, en un agujero de la cara superior. Esas huellas, visibles aún en las piedras de los templos, son la principal prueba del uso de grúas. Vitruvio describe unas tenazas de hierro colgadas bajo el motón inferior, cuyos dientes encajan en agujeros de la piedra. Las grúas de obra de este tipo tenían poco alcance lateral, así que el bloque se depositaba cerca de su sitio y se empujaba con palancas hasta colocarlo.

Cómo construirla

Una maqueta de mesa muestra cómo las poleas y el torno multiplican la fuerza. Manténgala pequeña: es una demostración, no un aparato de izado.

Montar el armazón. Ate cerca del extremo superior dos varillas de madera o palos de escoba de alrededor de 1 m, separe sus pies unos 50 cm sobre una tabla base y atorníllelos. Sujete la tabla con sargentos a una mesa firme para que la maqueta no pueda volcar, y tense dos cordeles desde lo alto hasta unas armellas en la parte trasera de la tabla, de modo que el armazón se incline un poco hacia delante pero la carga quede sobre la tabla.

Aparejar. Cuelgue arriba un pequeño cuadernal de dos roldanas y debajo uno de una roldana. Ate un cordel resistente a la parte superior del motón inferior, páselo por encima de una roldana de arriba, por debajo de la de abajo y por encima de la segunda roldana de arriba. Ahora tres ramales sostienen el motón inferior.

Añadir un torno. Taladre cada pata cerca de la base y pase por ambos agujeros una varilla corta que gire libremente; pegue una manivela en un extremo; el extremo libre del cordel se atará en el centro después de la primera prueba de abajo. Taladre en una pata un agujero para una espiga extraíble: con la espiga puesta, la manivela se apoya en ella y retiene la carga. No suelte la manivela cada vez que saque la espiga para seguir enrollando.

Medir la ganancia. Haga esta primera prueba antes de atar el cordel a la varilla. Pese el motón inferior y cuelgue de él una bolsa de arena de 500 g como máximo. Tire despacio y de forma constante del extremo libre con un dinamómetro, subiendo la bolsa solo unas decenas de centímetros: debe leer algo más de un tercio del peso de la bolsa y el motón juntos; el resto es rozamiento. Baje la bolsa, ate el cordel en el centro de la varilla y compare el recorrido de la manivela con lo que sube la bolsa.

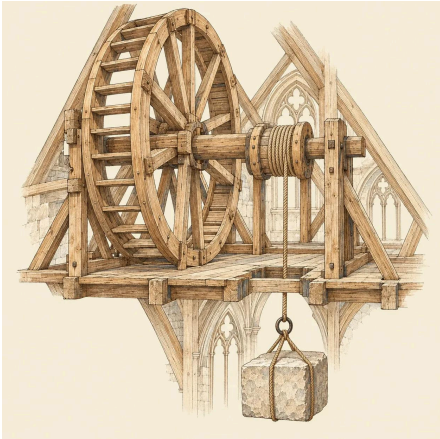
> **Seguridad.** Mantenga la mano en la manivela mientras la carga esté levantada: un eje simple gira hacia atrás en cuanto se suelta. Coloque la maqueta donde una bolsa que caiga no alcance manos ni pies, y mantenga los dedos lejos de las poleas y del eje de enrollado. No agrande la maqueta para levantar objetos pesados: un izado real exige equipos homologados para subir y bajar cargas suspendidas, manejados por personas formadas en aparejos.

Historia y evolución

La polea aparece en un relieve asirio del siglo IX a. C. En el siglo VII a. C., constructores griegos tallaban canales para cuerdas en bloques de 200 a 400 kg en Istmia y Corinto, y algunos investigadores creen que ya se ensayaban armazones de izado. Las grúas se generalizan en las obras griegas hacia el 515 a. C., cuando aparecen las huellas de tenazas y de castañuelas en templos como el de Apolo en Delfos. La primera descripción escrita clara del aparejo de poleas está en los Problemas mecánicos, un texto griego de principios del siglo III a. C.

Los constructores romanos usaban tanto el torno como la rueda de pisar. Un relieve de la tumba de la familia de los Haterios, en Roma, tallado hacia el año 100 d. C., muestra una grúa de rueda en funcionamiento. Según estimaciones modernas, que suponen un aparejo de tres filas de cinco poleas, la mayor grúa de aparejos, el polyspastos, levantaba unas 3 toneladas con cuatro hombres en el torno, y unas 6 con una rueda de pisar. Los sillares romanos más pesados, como los arquitrabes de Baalbek, necesitaban varias grúas u otros medios.

Las ruedas de pisar reaparecen en las cuentas de obra francesas hacia 1225, y hay grúas portuarias documentadas en Utrecht en 1244, Amberes en 1263 y Brujas en 1288. Los constructores góticos solían manejar sus ingenios desde la armadura de la cubierta, por encima de las bóvedas que estaban construyendo, y en torres de iglesias inglesas se conservan aún varias ruedas de pisar medievales. La gran grúa del puerto de Gdansk, construida en 1442-1444, ardió en 1945 y su maderamen se ha reconstruido. En 1586, Domenico Fontana levantó el obelisco del Vaticano, de entre unas 330 y 360 toneladas, con una torre de izado de madera. Desde 1801, dos máquinas de vapor movieron las grúas que construyeron el London Dock, en Londres, y en la década de 1840 William Armstrong construyó grúas hidráulicas movidas por agua; después llegaron los motores eléctricos y las plumas de acero, pero las grúas siguen levantando con motones y un tambor.



Una rueda de pisar medieval instalada sobre las bóvedas: la cuerda baja del tambor por una abertura del suelo.

Cifras clave

Indicio seguro más antiguo

Huellas de izado en sillares de templos griegos, hacia 515 a. C.

Grúa del puerto de Gdansk

Construida en 1442-1444, maderamen reconstruido tras 1945

Polyspastos romano (estimación moderna)

Unas 3 t con cuatro hombres en el torno, unas 6 t con rueda de pisar

Obelisco del Vaticano, 1586

Entre unas 330 y 360 t (las estimaciones varían), alzado por Domenico Fontana

Fuentes

1. J. J. Coulton, Lifting in early Greek architecture (Journal of Hellenic Studies 94, 1974) · Society for the Promotion of Hellenic Studies (copy hosted by the University of Athens) https://eclass-b.uoa.gr/modules/document/file.php/BAAG112/630416_Lifting%20in%20Early%20Greek%20Architecture_Coulton_Journal%20of%20Hellenic%20Studies1974.pdf
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book X (hoisting machines) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. Greek temple ruins suggest lifting machines in use 1.5 centuries earlier than previously believed · University of Notre Dame, via Newswise https://www.newswise.com/articles/greek-temple-ruins-suggest-lifting-machines-in-use-1-5-centuries-earlier-than-previously-believed
4. Rochester Bridge Trust magazine: John Rennie and the London Dock (steam engines working the construction cranes, 1801) · Rochester Bridge Trust https://rbt.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/RBT-40pp-A4-Magazine-Single-Pages-Updated.pdf
5. Crane (machine) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)
6. Treadwheel crane · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Treadwheel_crane
7. Treadwheel crane, Harwich (built 1667): wheels of 16 ft on an axle of 13½ in · The Harwich Society https://www.harwich-society.co.uk/maritime-heritage-trail/treadwheel-crane/
8. Block and tackle (friction: the sheave friction factor of API RP 9B) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Block_and_tackle
9. Human power (sustained output of a labourer, after Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Human_power

Datos verificados el 2026-10-12

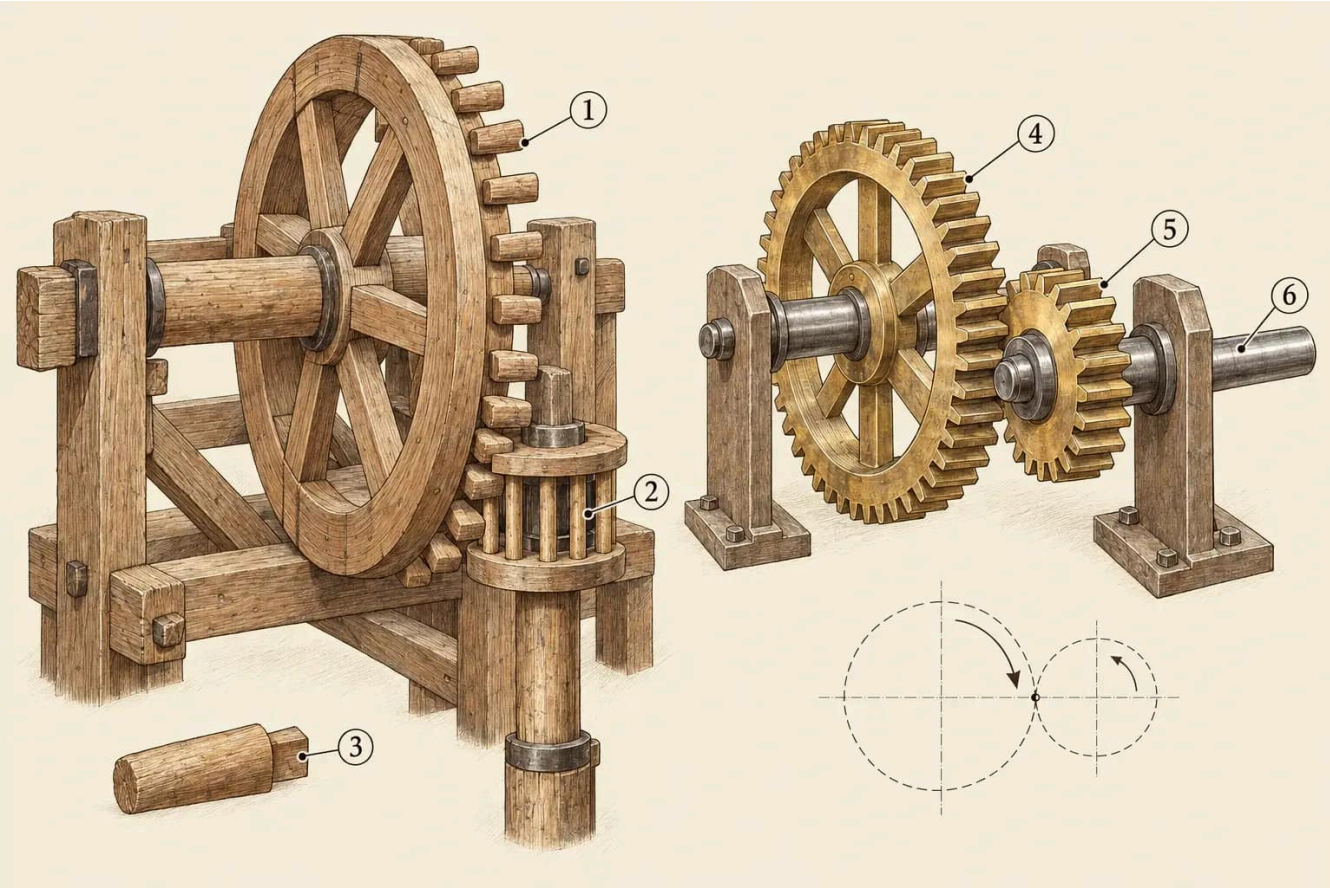
Engranajes

Dientes que cambian velocidad por fuerza

h. 300 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Bronce (p. 123)

Conduce a: Reloj mecánico (p. 200), Máquina de coser (p. 269), Máquina de vapor (p. 226), Rueda hidráulica (p. 157), Molino de viento (p. 185)



1 Rueda de cara con dientes de madera 2 Linterna 3 Diente de madera suelto 4 Rueda dentada recta 5 Piñón 6 Eje

Un engranaje es una rueda con dientes que encajan en los dientes de otra rueda, de modo que un eje puede mover a otro sin resbalar. Eligiendo el número de dientes, el constructor cambia velocidad por fuerza, modifica la dirección del movimiento o mantiene una relación exacta.

Qué es

Un engranaje es una rueda con dientes en el borde. Cuando esos dientes encajan con los de una segunda rueda, al girar una la otra tiene que girar también, sin resbalar. Hay engranajes en los molinos, los relojes, las bicicletas y las cajas de cambios de los coches.

Una rueda pequeña que mueve a otra grande la hace girar más despacio, pero con más fuerza de giro, lo que se llama par. Dos ruedas dentadas rectas engranadas giran en sentidos opuestos, y una rueda de cara o un engranaje cónico desvían el movimiento en ángulo recto. Como los dientes no pueden resbalar, un tren de engranajes conserva además su relación durante años, y de eso depende un reloj.

Cómo funciona

Tomemos dos ruedas engranadas de 60 y 15 dientes. Cada vez que un diente de la grande pasa por el punto de contacto, pasa también un diente de la pequeña, de modo que una vuelta de la rueda grande equivale a cuatro vueltas de la pequeña. La relación de velocidades es la relación entre los números de dientes. La potencia que entra vuelve a salir, menos lo que se pierde por rozamiento, así que el par cambia en sentido contrario: la rueda pequeña gira cuatro veces más rápido con la cuarta parte del par.

La lámina muestra dos familias. A la izquierda está el engranaje de madera de un molino: una rueda de cara, con clavijas llamadas dientes encajadas en un costado de la llanta, mueve una linterna hecha de barrotes redondos sujetos entre dos discos. Un diente gastado puede sacarse a golpes y sustituirse sin tocar los demás. A la derecha hay ruedas dentadas rectas de metal, con dientes perfilados, sobre ejes paralelos.

Con simples clavijas, la rueda movida acelera y frena un poco cada vez que un diente entra en contacto y lo abandona, lo que provoca ruido, sacudidas y desgaste. Para que la relación sea constante, los flancos de los dientes deben seguir curvas elegidas de manera que el empuje entre dos dientes pase siempre por el mismo punto de la línea que une los ejes. La cicloide, usada durante mucho tiempo en relojería, lo consigue. También la evolvente, la curva que traza el extremo de un hilo tenso al desenrollarlo de un círculo. Los engranajes de evolvente conservan su relación aunque los ejes queden algo más separados de la cuenta, y son más fáciles de tallar, por lo que casi todos los engranajes modernos la emplean.

Cada vuelta del tornillo hace avanzar la rueda un solo diente.

Un tornillo sin fin engrana con una rueda dentada. Puede tener una o varias entradas de rosca. El del dibujo tiene una sola y hace avanzar la rueda un diente por vuelta, lo que da una reducción de 30 a 1 con una rueda de 30 dientes. La posibilidad de que la rueda accione el tornillo en sentido inverso depende de la geometría y del rozamiento. Las vibraciones pueden anular el autobloqueo, por lo que los polipastos y los cabrestantes de elevación necesitan un freno independiente que sostenga la carga. La cremallera, una barra recta dentada, convierte la rotación en movimiento rectilíneo.

Cómo se construye

Los engranajes de metal precisos exigen un torno con plato divisor o una máquina de tallar engranajes. Una rueda de cara y una linterna de madera, como las que se describen aquí, pueden hacerse con herramientas manuales.

Elegir la relación. Escoger los números de dientes según la velocidad de salida que se necesite, por ejemplo 45 dientes y 8 barrotes, aproximadamente 5,6 a 1. Los números sin factor común reparten el desgaste, porque cada diente se encuentra por turno con cada barrote.

Trazar el paso. Dientes y barrotes deben estar separados exactamente por la misma distancia, el paso, medida sobre sus circunferencias primitivas. Trazar la circunferencia y dividirla con el compás de puntas; un milímetro de error en cada paso se va sumando a lo largo de toda la vuelta.

Hacer la rueda. Construir la llanta con madera dura bien curada, como el roble, en segmentos superpuestos para que la fibra siga la curva, y fijarla a unos brazos que atraviesan el eje por mortajas. Abrir un agujero en cada marca e introducir a golpes dientes de una madera densa y tenaz, con una espiga que atraviese la llanta y quede acuñada por detrás. Redondear los extremos que trabajan.

Hacer la linterna. Fijar dos discos en el eje, taladrarlos sobre la misma circunferencia primitiva y encajar a golpes barrotes redondos entre ellos.

Ajustar el engrane. Montar ambos ejes en cojinetes sólidos de modo que los dientes entren hasta la mitad de los huecos entre barrotes, con un poco de holgura. Girar las ruedas despacio a mano, marcar con tiza los puntos donde aprietan y rebajarlos. Engrasar los dientes con sebo.

> **Seguridad.** Los engranajes atrapan dedos, pelo y ropa suelta en el punto donde se juntan los dientes. Colocar una protección, recogerse el pelo y las mangas y no meter nunca la mano en un engranaje que pueda girar: antes hay que parar y bloquear la transmisión.

Historia y evolución

Un piñón y una cremallera convierten la rotación en movimiento rectilíneo.

Los *Problemas mecánicos*, escritos en la escuela de Aristóteles hacia 280 a. C., describen ruedas en contacto que giran en sentidos opuestos, pero no dicen nada de dientes; quizá eran ruedas lisas que se movían por rozamiento. Los engranajes más antiguos que se conservan son pequeñas ruedas metálicas chinas del periodo de los Reinos Combatientes, en el siglo IV a. C., guardadas en el museo de Luoyang.

En Alejandría, en el siglo III a. C., Ctesibio construyó un reloj de agua en el que un flotador, al subir, movía una varilla y unos tambores de dientes iguales, según lo describió más tarde Vitruvio. A Arquímedes se le atribuye el tornillo sin fin, hacia 250 a. C.

El mayor fragmento del mecanismo de Anticitera, con su rueda principal de cuatro radios.

En 1901, unos buzos encontraron en un pecio frente a la isla griega de Anticitera el engranaje antiguo más complejo que se conoce. El mecanismo, fabricado en el siglo II o I a. C., se conserva en 82 fragmentos que contienen 30 ruedas dentadas de bronce, más o menos un tercio de la máquina original. Accionado a mano, mostraba las posiciones del Sol, la Luna y los planetas y predecía los eclipses.

Hacia 25 a. C., Vitruvio describió un molino de agua en el que un tambor dentado colocado en el eje de la rueda movía una rueda horizontal más grande, y esta hacía girar la muela. Ruedas de cara y linternas de este tipo movieron los molinos durante los quince siglos siguientes. Los relojes mecánicos se difundieron por Europa desde alrededor de 1300. La construcción del reloj astronómico de Giovanni de' Dondi suele fecharse en 1348–1364, aunque las fechas se discuten: el museo de ciencia y tecnología de Milán propone 1365–1380. En la década de 1490, Leonardo da Vinci dibujó perfiles de dientes en los cuadernos que hoy se conocen como Códices de Madrid.

Philippe de La Hire analizó las curvas de los dientes hacia 1694, y hacia 1754 Leonhard Euler formuló la regla que deben seguir los dientes para mantener una relación constante. En el siglo XIX, los engranajes de hierro fundido y después los de acero tallado a máquina movieron las fábricas, y la evolvente sustituyó a la cicloide en la mayoría de las máquinas.

Cifras clave

Relación de velocidades

La fijan los números de dientes: una rueda de 60 dientes que mueve otra de 15 la hace girar 4 veces más rápido

Engranajes más antiguos conservados

China, periodo de los Reinos Combatientes (siglo IV a. C.)

Mecanismo de Anticitera

30 ruedas dentadas de bronce conservadas, siglos II o I a. C.

Teoría del dentado

La Hire (hacia 1694) y Euler (hacia 1754) establecieron las curvas para una relación constante

Fuentes

1. Gear · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gear
2. A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism (Freeth et al., 2021) · Scientific Reports https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7955085/
3. Geared power transmission technology (J. J. Coy, 1983) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19830011851
4. Vitruvius, De architectura, Book IX, chap. 8 (Ctesibius's water clock) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/9*.html
5. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Self-locking of worm gear reducers · Tsubakimoto Chain https://tt-net.tsubakimoto.co.jp/tecs/engd/gen/engd_gen_ggm_gis_sfl.asp?lang=en
7. KWG Ground Worms and Worm Wheels: specifications · KHK Gears https://khkgears.net/pdf/kwg.pdf
8. L'Astrario di Giovanni Dondi · Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci https://artsandculture.google.com/story/l%E2%80%99astrario-di-giovanni-dondi-museo-nazionale-della-scienza-e-della-tecnologia-leonardo-da-vinci/0gURs225ZTyrJA?hl=it
9. Engrenage · Office québécois de la langue française https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2091942/engrenage
10. Machinists' and Draftsmen's Handbook (Lobben, 1910), p. 325: a derrick crab worked out · Project Runeberg https://runeberg.org/lobben/0345.html
11. Effect of geometry and operating conditions on spur gear system power loss (Anderson and Loewenthal, NASA TM-81426, 1980) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19800010132
12. Human power: comfortable one-hand cranking (Jansen and Slob, ICED 03, 2003) · The Design Society https://www.designsociety.org/download-publication/23972/human_power_comfortable_one-hand_cranking

Datos verificados el 2026-10-12

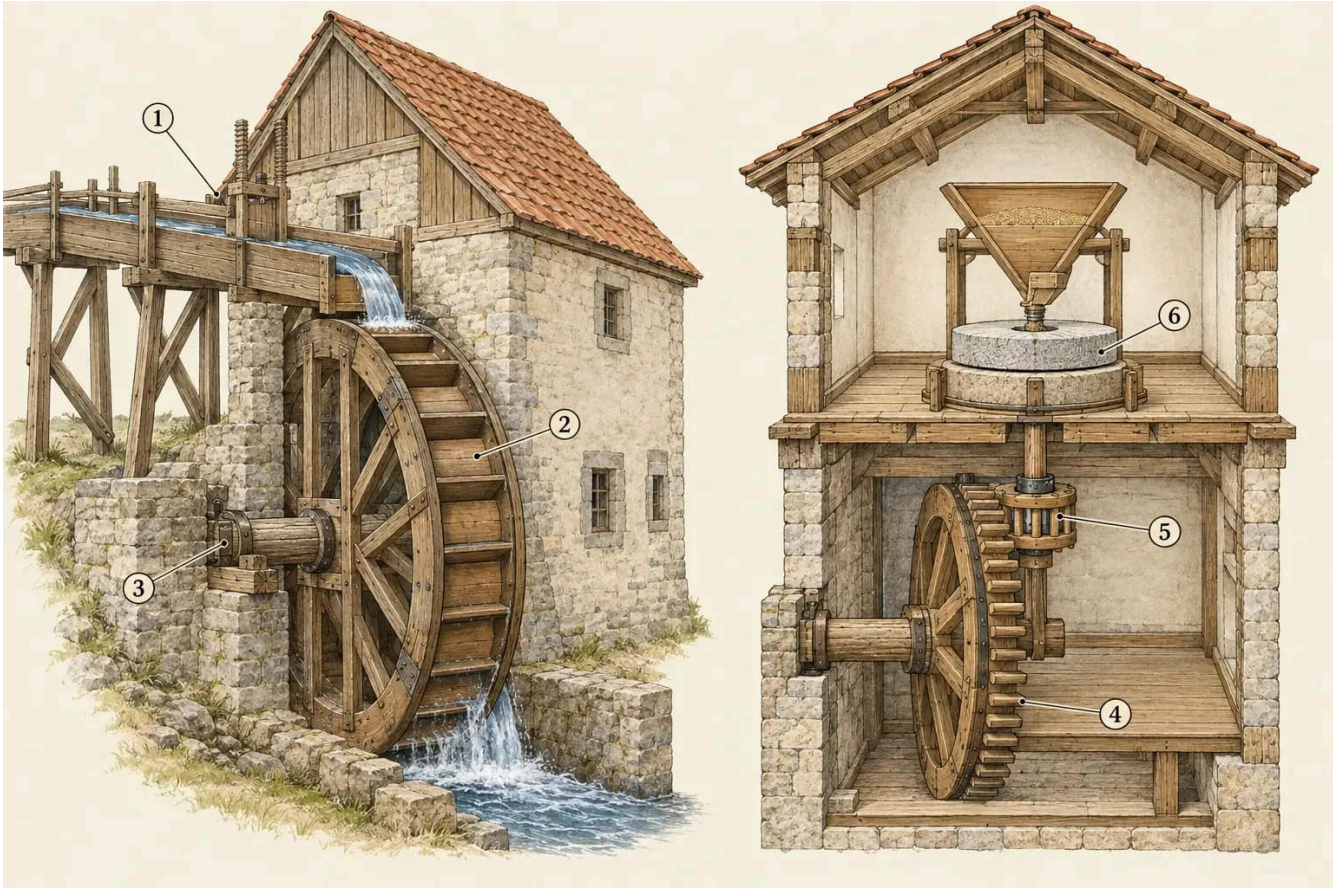
Rueda hidráulica

Un río convertido en trabajo

h. 300 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Rueda y eje (p. 81), Engranajes (p. 153)

Conduce a: Turbina hidráulica (p. 264), Molino de viento (p. 185)



1 Canal y compuerta 2 Cangilones 3 Eje 4 Rueda dentada del eje 5 Linterna 6 Muelas

Una rueda hidráulica convierte la corriente o la caída del agua en rotación, que los engranajes transmiten después a muelas, martillos, fuelles o bombas. Desde el siglo III a. C. hasta el siglo XIX fue la principal fuente de energía mecánica después de la fuerza de las personas y los animales.

Qué es

Una rueda hidráulica es una rueda provista de paletas o cangilones que el agua en movimiento hace girar, y su eje mueve máquinas. Durante dos mil años molió grano. Desde la Edad Media también abatanó paños, serró madera, accionó los fuelles y los martillos de las forjas y sacó el agua de las minas.

Una rueda de alimentación inferior hunde sus paletas en una corriente que las empuja. Los modelos tradicionales sencillos no necesitan presa y convierten en trabajo una pequeña parte de la energía disponible. Una rueda de alimentación superior, como la de esta lámina, recibe agua por arriba desde un canal y gira por el peso del agua en sus cangilones. Necesita un salto al menos tan alto como la rueda. Un desnivel natural con una toma de agua y un canal puede bastar; la presa y la balsa son opcionales. La rueda de costado recibe agua a la altura del eje. El

rendimiento depende del diseño y del suministro de agua; las ruedas de alimentación inferior mejoradas también pueden alcanzar un rendimiento alto.

Una rueda de alimentación inferior: la corriente empuja las paletas más bajas.

Cómo funciona

El agua retenida en la balsa del molino almacena energía por estar en alto. En el molino de alimentación superior, el canal (1), una artesa de madera, la lleva hasta lo alto de la rueda, y una compuerta permite al molinero poner la rueda en marcha, pararla y regular su velocidad. El agua cae en los cangilones (2) del lado que baja. Ese lado pesa y el otro va vacío, así que la rueda gira despacio, a unas pocas vueltas por minuto. Los cangilones retienen el agua todo lo posible y la vacían cerca del punto más bajo, en el canal de desagüe.

La potencia hidráulica disponible es $P = \rho g Q H$: densidad del agua ρ multiplicada por la aceleración de la gravedad g, el caudal volumétrico Q y la altura del salto H. Con una densidad de unos 1000 kg/m^3 y $g = 9{,}81$ m/s^2, un caudal de 100 litros por segundo (0,1 m^3/s) y un salto de cuatro metros dan unos 3,92 kW antes de las pérdidas. Una rueda de alimentación superior bien construida convierte la mayor parte en trabajo sobre su eje.

En el molino de rueda horizontal no hay engranajes: el eje de la rueda es el mismo eje de la muela.

Dentro del molino, el eje (3) lleva la rueda dentada del eje (4), una gran rueda cuyos dientes mueven la pequeña linterna (5) de un árbol vertical. Como en un molino de viento, el movimiento pasa de horizontal a vertical y se acelera, porque la rueda es lenta y la muela de arriba tiene que girar mucho más deprisa. Esa muela volandera (6) tritura el grano, que le llega desde una tolva, contra la muela solera, fija debajo de ella.

Algunos molinos no tienen ningún engranaje. En el molino de rueda horizontal, o de rodezno, usado durante mucho tiempo en Irlanda, Escandinavia y la cuenca mediterránea, una pequeña rueda tendida bajo el suelo recibe el chorro de un canal muy inclinado, y su eje vertical hace girar directamente la muela volandera. Los modelos tradicionales sencillos son baratos y convierten en trabajo una proporción relativamente pequeña de la energía disponible. Las ruedas horizontales mejoradas pueden alcanzar rendimientos altos.

Cómo se construye

Este esquema corresponde a una pequeña rueda de alimentación superior que mueve una bomba o una máquina ligera. Para tomar agua de un arroyo suele hacer falta un permiso.

Buscar el salto. Elegir un arroyo con un desnivel de dos metros o más. Excavar un canal, el caz, que salga del arroyo aguas arriba con una pendiente muy suave, de modo que al llegar a la rueda corra bastante por encima

del cauce.

Dimensionar la rueda. Hacer la rueda algo más pequeña que el salto, para que el agua caiga un poco antes de entrar en el cangilón superior. La anchura depende del caudal. Los cangilones que solo se llenan en parte tardan más en derramar el agua.

Construir el eje y los brazos. Usar un eje de roble, escuadrado donde se fijan los brazos, con gorrones de hierro en los extremos que giran sobre cojinetes de madera dura o de bronce, apoyados en pilares de piedra o de hormigón.

Hacer las coronas y los cangilones. Colocar los cangilones inclinados entre dos aros de tablas, las coronas, y cerrar el lado interior con más tablas. Empapar la rueda antes de usarla para que la madera se hinche y las juntas queden estancas.

Instalar el canal y la compuerta. Llevar el agua hasta lo alto de la rueda por una artesa de madera sobre caballetes, con una compuerta corredera y un aliviadero que desvíe el agua junto a la rueda cuando esta esté parada. Comprobar que la rueda esté equilibrada y luego abrir la compuerta poco a poco.

> **Seguridad.** Una rueda cargada pesa mucho y no se detiene en el acto: no subirse nunca a ella ni meter la mano mientras gira. Antes de cualquier mantenimiento, cortar el suministro de agua, bloquear la compuerta para impedir que se abra y desviar las posibles fugas lejos de la rueda. Comprobar que se haya detenido por completo. Desde un lugar seguro, vaciar el agua retenida e inmovilizar la rueda y las máquinas que mueve con dispositivos adecuados para las cargas restantes, de modo que la energía almacenada no pueda moverlas. Una persona competente debe establecer y comprobar este aislamiento. El agua rápida de un canal puede derribar y ahogar a un adulto: vallar el canal de desagüe y no trabajar nunca solo cerca de él. Cubrir todos los engranajes accesibles con resguardos que impidan el contacto con manos y ropa.

Historia y evolución

Las primeras ruedas elevaban agua. En el siglo III a. C., Filón de Bizancio describió una rueda con compartimentos que se usaba para regar en Egipto. El historiador M. J. T. Lewis sostiene que los molinos de grano movidos por agua aparecieron en ese mismo siglo, primero con eje vertical y después con eje horizontal. La primera descripción clara de un molino de agua con engranajes es la de Vitruvio, hacia 25 a. C.: una rueda de alimentación inferior mueve la muela mediante un tambor dentado y una rueda horizontal más grande.

En Barbegal, cerca de Arlés, en el sur de Francia, los romanos construyeron dieciséis ruedas de alimentación superior en dos filas de ocho, escalonadas en la ladera de una colina y alimentadas por un acueducto. El conjunto se construyó en el siglo II d. C. En China, Du Shi aprovechó la fuerza del agua para accionar los fuelles de las fundiciones de hierro en el año 31 d. C.

En el norte de África y Oriente Próximo, la noria, una gran rueda movida por la corriente con vasijas en la llanta, elevaba el agua hasta canales de riego y abastecía a las ciudades. En el siglo X, el médico al-Razi describió una en Irak que elevaba unos 153 000 litros por hora.

Los molinos de agua se multiplicaron en la Europa medieval. El censo del Domesday Book, de 1086, contó unos seis mil en Inglaterra, y con el tiempo las ruedas pasaron a mover batanes, sierras, fuelles de forja y martinetes.

En la década de 1750, el ingeniero inglés John Smeaton ensayó ruedas a escala. Con una energía hidráulica disponible comparable, sus modelos de alimentación superior produjeron al menos el doble de trabajo que sus modelos de alimentación inferior. Publicó los resultados en 1759. La proporción corresponde a los modelos ensayados y no se aplica a todas las ruedas hidráulicas. La rueda de Laxey, en la isla de Man, terminada en

1854 para achicar el agua de las minas de Laxey, mide 22,1 metros de diámetro. A partir de 1827, la turbina de Benoît Fourneyron empezó a sustituir a la rueda, y de ella descienden las turbinas de las centrales hidroeléctricas modernas.

Una noria: la corriente hace girar la rueda, y la rueda levanta una parte del río.

Cifras clave

Primera descripción
Filón de Bizancio, siglo III a. C. (una rueda elevadora de agua)

Inglaterra, 1086
Unos 6000 molinos en el censo del Domesday Book

Alimentación superior o inferior
Al menos el doble de eficiencia con alimentación superior en los ensayos de Smeaton, con energía hidráulica disponible comparable (1759)

Mayor rueda en funcionamiento
Laxey, isla de Man: 22,1 m de diámetro, construida en 1854

Fuentes

1. Water wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel
2. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. The Scientists, the Engineers, and the Water Wheel · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-scientists-the-engineers-and-the-water-wheel
4. Great Laxey Wheel · Manx National Heritage https://manxnationalheritage.im/?p=18117
5. John Smeaton · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/John_Smeaton
6. Providing and using work equipment safely: A brief guide · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/indg291.pdf
7. The second century CE Roman watermills of Barbegal: Unraveling the enigma of one of the oldest industrial complexes · Science Advances, American Association for the Advancement of Science https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6124920/
8. Waterwheel · Energy Education, University of Calgary https://www.energyeducation.ca/encyclopedia/Waterwheel
9. Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations · Politecnico di Torino, institutional repository https://iris.polito.it/handle/11583/2712517
10. High hydraulic performance in horizontal waterwheels · Universitat de Girona, Research Portal https://recerca.udg.edu/en/publications/high-hydraulic-performance-in-horizontal-waterwheels/

Datos verificados el 2026-10-12

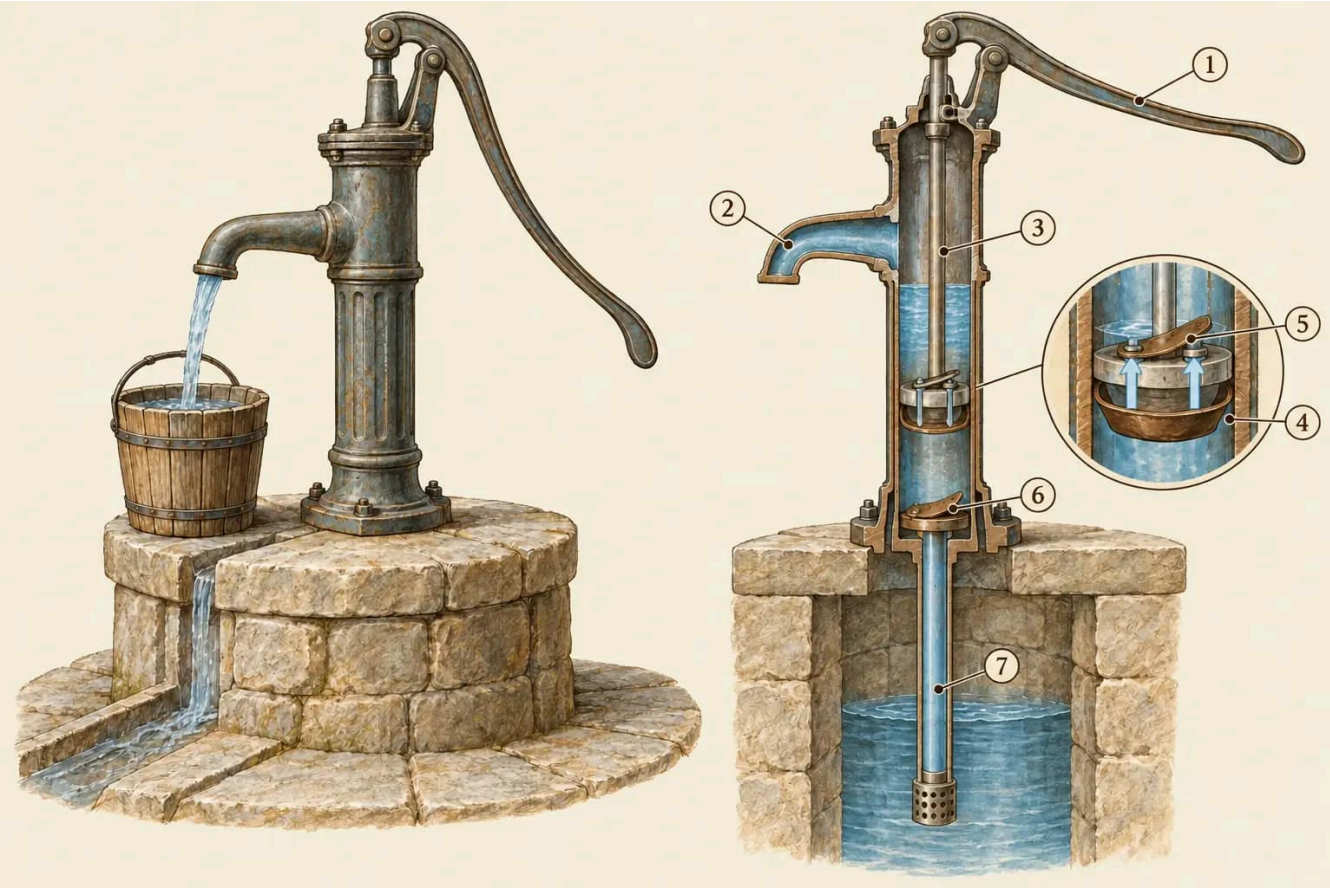
Bomba de pistón

El agua elevada con pistón y válvulas

h. 270 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Bronce (p. 123), Curtido del cuero (p. 101)

Conduce a: Refrigeración (p. 281), Máquina de vapor (p. 226)



1 Palanca 2 Caño 3 Vástago 4 Copa de cuero 5 Válvula del pistón 6 Válvula de pie 7 Tubo de aspiración

Una bomba de pistón mueve el agua con un émbolo que se desliza dentro de un cilindro, entre dos válvulas que solo la dejan pasar en un sentido. La bomba impelente se atribuye a Ctesibio de Alejandría, en el siglo III a. C.; la bomba aspirante, que sube el agua desde abajo, se extendió por Europa a finales de la Edad Media y acabó en los pozos de pueblos de todo el mundo.

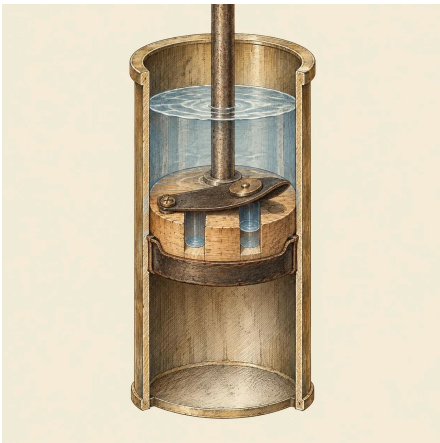
Qué es

Una bomba de pistón mueve el agua con un émbolo que sube y baja dentro de un tubo, entre dos válvulas que solo se abren en un sentido. Desde hace más de dos mil años, estas bombas desaguan minas, alimentan fuentes, apagan incendios y sacan agua de los pozos.

La bomba aspirante, también llamada elevadora, está por encima del agua y la hace subir por un tubo. La bomba impelente está dentro del agua, o por debajo de su salida, y expulsa el agua a presión. La lámina muestra una bomba aspirante del siglo XIX sobre un pozo de pueblo tapado.

Cómo funciona

En el fondo del cilindro está la válvula de pie, una tapa de cuero o de caucho que se levanta para dejar entrar el agua y vuelve a caer sobre su asiento. El pistón lleva una segunda tapa sobre unos orificios que lo atraviesan, y una copa de cuero en su borde. La copa se abre hacia arriba, de modo que el agua que tiene encima la aprieta contra la pared.



Al subir, el agua de arriba mantiene cerrada la tapa; al bajar, la tapa se levanta y el agua atraviesa el pistón.

Cuando la palanca sube el pistón, su válvula sigue cerrada y el agua que lleva encima sube hasta el caño. Debajo del pistón baja la presión, y el aire que pesa sobre la superficie del pozo empuja el agua por el tubo de aspiración y a través de la válvula de pie. Al bajar, la válvula de pie se cierra, la del pistón se abre y el pistón atraviesa el agua.

En el lado de aspiración trabaja la atmósfera, y su empuje tiene un límite. Al nivel del mar, el peso del aire equilibra una columna de agua de unos 10,3 metros, o de 76 centímetros de mercurio. Fugas, rozamiento y agua que hierve a baja presión limitan una bomba de mano a unos 7 metros, menos en la montaña.

Una bomba impelente expulsa el agua por una válvula de descarga, tan alto como lo permitan la fuerza aplicada y los tubos. Las bombas manuales de pozo profundo bajan el cilindro por debajo del nivel del agua y mueven el pistón con una varilla larga, de modo que la aspiración ya no fija el límite. Dos cilindros alternos, o un pistón de doble efecto que impulsa en ambas carreras, igualan el caudal, y una cámara de aire en la salida, donde el aire encerrado se comprime y se expande, convierte los golpes en un chorro continuo.

Cómo construirla

Con tubo de plástico se hace una pequeña bomba aspirante para un pozo poco profundo o un depósito de lluvia. El agua debe quedar a menos de unos 6 metros bajo el cilindro, mejor a 3 o 4.

Cilindro. Fije en vertical de 60 a 80 cm de tubo de PVC liso de unos 50 mm de diámetro, con una T cerca de la parte alta como caño. Un tubo más fino baja desde su base hasta el agua. Todas las uniones por debajo del pistón deben ser herméticas al aire.

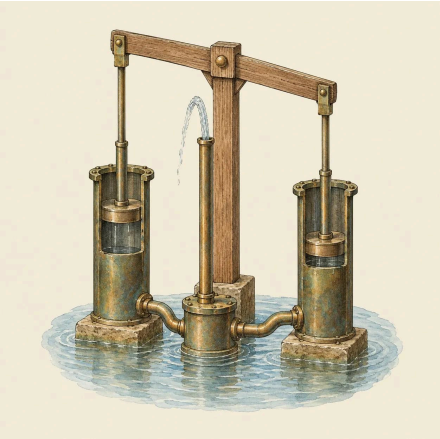
Válvula de pie. Cierre el fondo del cilindro con un tapón con un agujero de unos 2 cm. Ponga encima un disco de cuero o de cámara de bicicleta, atornillado por un borde a modo de bisagra y con una arandela como lastre.

Pistón. Corte un tapón de madera dura o de plástico algo más pequeño que el diámetro interior, perfórelo y cubra los agujeros con una tapa igual. Debajo, sujete una copa de cuero grueso o de caucho con el borde vuelto hacia arriba y el centro recortado para que los agujeros queden libres. Remoje el cuero antes de montarlo. Una varilla une el pistón con una palanca de un metro, articulada en un poste.

Cebar y mantener. Vierta un vaso de agua limpia en el cilindro para mojar la copa y sellar las válvulas, y empiece a bombear. Si la bomba se vacía durante la noche, revise primero la válvula de pie.

> **Seguridad.** No deje nunca un pozo abierto: tápelo con una losa o una tapa que aguante a un adulto y mantenga alejados a los niños. No baje nunca a un pozo, donde al aire le puede faltar oxígeno. No acerque los dedos a la articulación. Selle el paso del tubo, incline el suelo hacia fuera y aleje letrinas y animales. Cebe solo con agua potable, porque acaba en el pozo. El cuero, la cámara de bicicleta y el plástico corriente no están hechos para agua de consumo: use esta bomba para riego o limpieza, o constrúyala entera con piezas certificadas para agua potable. No beba agua de un pozo hasta que un análisis la declare segura; hervirla mata los gérmenes, pero no elimina los productos químicos.

Historia y evolución



La bomba de Ctesibio según la describe Vitruvio: dos cilindros de bronce que trabajan por turnos y alimentan un solo tubo vertical.

La bomba impelente se atribuye a Ctesibio, ingeniero en Alejandría hacia el 270 a. C. Vitruvio describió sus cilindros de bronce y sus válvulas hacia el 25 a. C. Un inventario de Richard Stein de 2007 cuenta trece bombas romanas de metal, casi todas de bronce, y dieciocho de madera de roble, halladas en su mayoría en pozos; la de Silchester está en el museo de Reading.

Hacia 1206, al-Yazarí describió una bomba movida por una rueda hidráulica, con dos pistones opuestos y verdaderos tubos de aspiración. Las bombas aspirantes llegaron a las minas europeas a finales de la Edad Media. En 1556, Georgius Agricola describió juegos de tres bombas escalonadas, cada una con unos siete metros de tubo, que subían el agua de depósito en depósito.

En 1638, Galileo contó que ninguna bomba aspirante podía elevar el agua más de dieciocho brazas florentinas, unos 10,5 metros, y creyó que la columna se rompía por su propio peso. Su discípulo Torricelli halló la causa en 1644 (algunos relatos dicen 1643): en un tubo de vidrio, el mercurio se mantiene a unos 76 cm, sostenido por el peso del aire. En 1648, a petición de Pascal, su cuñado subió el tubo al Puy de Dôme, donde el mercurio quedó unos 8,5 cm más bajo.

En Londres, Richard Newsham patentó en 1721 una bomba de incendios cuyas dos bombas alimentaban una cámara de aire, lo que daba un chorro continuo. Para las minas, Thomas Newcomen había construido ya en 1712, cerca de Dudley, su primera máquina de vapor, que movía sus bombas. En la India, un estudio de UNICEF halló en 1974 que tres de cada cuatro pozos perforados en los siete años anteriores no daban agua. UNICEF, el Gobierno y la empresa Richardson and Cruddas crearon entonces la India Mark II, con el cilindro dentro del pozo, capaz de sacar agua de 50 metros. Hay millones en uso, y se exporta a más de 40 países.

Una bomba de incendios del tipo de Newsham: dos bombas movidas por largos brazos y una cámara de aire que mantiene el chorro constante.

Cifras clave

Límite teórico de aspiración
Unos 10,3 m de agua al nivel del mar, la altura que el peso del aire puede sostener

Límite en la práctica
Unos 7 m entre la superficie del agua y una bomba de mano

Bomba impelente de Ctesibio
Alejandría, hacia 270 a. C.; conocida por Vitruvio, hacia 25 a. C.

Bombas romanas halladas
13 de metal, casi todas de bronce, y 18 de madera (inventario de 2007)

Bomba manual India Mark II
Alturas de 10 a 50 m, cilindro de 63,5 mm, millones instaladas desde finales de los años setenta

Fuentes

1. Vitruvius, On Architecture, Book X, chapter 7 (Gwilt translation, 1826) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
2. Roman Wooden Force Pumps (R. J. B. Stein), in Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité, 2007 · Publications du Centre Jean Bérard, OpenEdition Books https://books.openedition.org/pcjb/405
3. Horror vacui? The syphon experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper1.html
4. Horror vacui? Torricelli's barometric experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html
5. Horror vacui? The void within a void · Museo Galileo, Florence https://imss.fi.it/vuoto/eesper3.html
6. Barometers · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/earth-and-environment/atmosphere-and-weather/meteorological-instruments/barometers
7. Al-Jazari, Badi al-Zaman (Dictionary of Scientific Biography) · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/al-jazari-badi-al-zaman-abu-l-izz-ismail-ibn-al-razzaz
8. Georgius Agricola, De re metallica, Book VI (Hoover translation, 1912) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/38015
9. Mine Pumping in Agricola's Time and Later (R. P. Multhauf, 1959) · Smithsonian Institution, via Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/31024
10. Hand pumps for water lifting · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Mechanical%20Power/KnO-100411_Human-powered%20handpumps/page5.html
11. No. 6 pump (public-domain handpump specification) · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/no-6-pump
12. Water lifting devices, chapter 3.5: reciprocating displacement pumps · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/ah810e/ah810e06.htm
13. India Mark II handpump specification · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/india-mark-ii
14. How three handpumps revolutionised rural water supplies: the India Mark II · Rural Water Supply Network https://rwsn.blog/2013/03/19/how-three-handpumps-revolutionised-rural-water-supplies-the-india-mark-ii/
15. A history of UNICEF work on water, sanitation and hygiene in India · UNICEF India https://www.unicef.org/india/stories/history-unicef-work-water-sanitation-and-hygiene-india
16. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
17. Fire Engine (Newsham, patented 1721) · Colonial Williamsburg Foundation https://history.org/primary-content/fire-engine/
18. Suction pump · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Suction_pump

Datos verificados el 2026-10-14

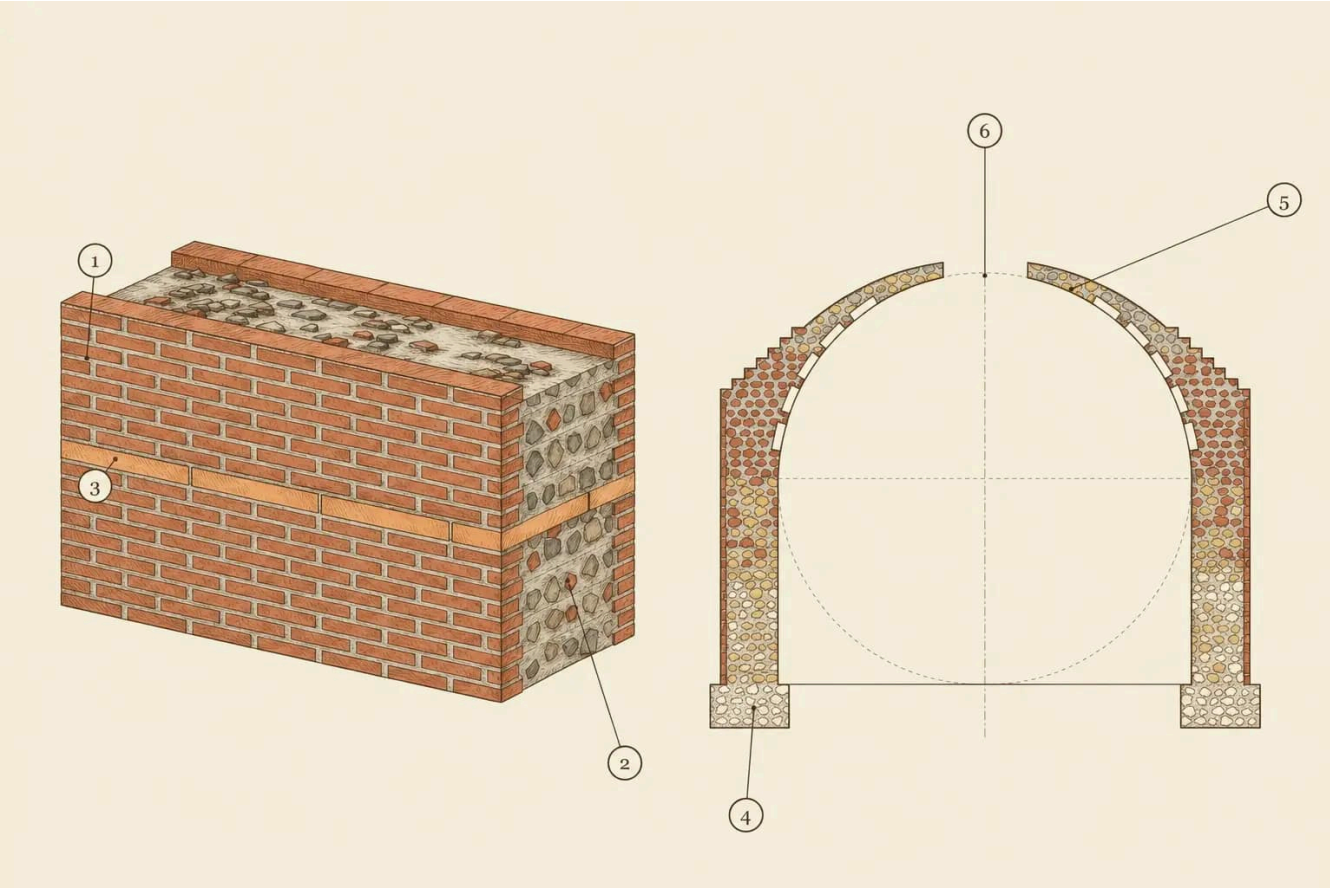
Hormigón romano

Cal, ceniza volcánica y cascotes

h. 200 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Ladrillos (p. 40), Dominio del fuego (p. 9), Cal y mortero de cal (p. 31)

Conduce a: Cemento Portland (p. 256)



1 Paramento de ladrillo 2 Núcleo de cascotes y mortero 3 Verdugada de grandes ladrillos planos
4 Travertino pesado de los cimientos 5 Piedra pómez ligera y toba en lo alto de la cúpula 6 Óculo

El hormigón romano es un mortero de cal apisonado alrededor de piedras o trozos de ladrillo; en su forma más conocida, el mortero lleva ceniza volcánica. La ceniza lo hace fraguar incluso bajo el agua; con él se levantaron las bóvedas de Roma, sus puertos y la cúpula sin armadura del Panteón, todavía la mayor de su clase.

Qué es

El hormigón romano, opus caementicium, es una masa de fragmentos de piedra unidos por un mortero de cal que, en muchas obras romanas, llevaba ceniza volcánica. Los romanos llamaban caementa a esos fragmentos, palabra de la que viene «cemento». Desde el siglo II a. C. permitió levantar muros, bóvedas y cúpulas de un tamaño que la sillería sola no alcanzaba, con menos coste y con mano de obra menos especializada.

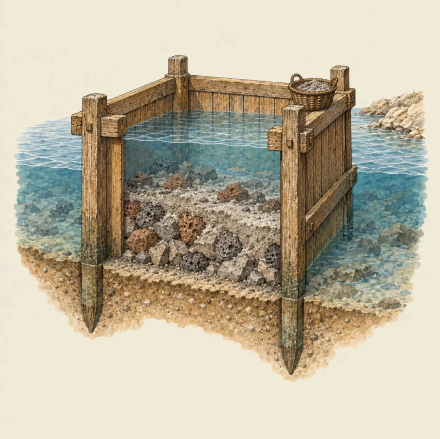
Dos cosas lo distinguen de un simple mortero de cal: la ceniza volcánica, que le permite endurecer incluso bajo el agua, y una forma de construir por capas de cascotes entre hojas de ladrillo o de piedra menuda.

Cómo funciona

El aglomerante empieza siendo caliza. Cocida en un horno, desprende dióxido de carbono y se convierte en cal viva; con agua, la cal viva se hincha, se calienta y pasa a ser cal apagada. Un mortero de cal aérea pura endurece despacio, al recuperar el dióxido de carbono del aire, y sigue blando donde el aire no llega.

Un horno de cal: la caliza se apila sobre un arco encima del fuego y sale convertida en cal viva blanca.

La ceniza volcánica lo resuelve. La del golfo de Nápoles, llamada puzolana por la ciudad de Pozzuoli, es rica en sílice y alúmina en forma vítrea y reactiva. Reacciona con la cal y el agua y forma nuevos minerales aglomerantes, así que el mortero endurece al reaccionar con el agua y no con el aire, incluso sumergido. Vitruvio, hacia el 25 a. C., señalaba que esa arena volcánica de los alrededores de Bayas y del Vesubio, mezclada con cal y cascotes, endurecía bajo el agua igual que en tierra.



Hormigón marino: se llenaban de mortero de ceniza y cascotes cajones de madera hincados en el mar.

Para los puertos, los constructores clavaban pilotes de madera en el fondo marino, los unían en un recinto y lo llenaban de mortero y trozos de toba directamente en el agua; Vitruvio describe también recintos que se achicaban antes de rellenarlos. Plinio el Viejo describía esos espigones como una sola masa de piedra, cada día más firme. En 2017, un equipo dirigido por la geóloga Marie Jackson mostró que el agua de mar disuelve poco a poco parte de la ceniza y que en sus poros crecen nuevos minerales, entre ellos la rara tobermorita alumínica y la phillipsita. Según el equipo, esos cristales entrelazados ayudan al hormigón a resistir la fisuración.

Los obreros levantaban el hormigón romano por capas. Extendían una capa de piedras del tamaño de un puño o de ladrillo roto, apisonaban mortero entre ellas y repetían la operación capa tras capa; el mortero llegaba al muro en cestos llevados a mano. Los paramentos de ladrillo o de pequeños sillarejos servían de encofrado perdido. Cada cierta altura, verdugadas de grandes ladrillos planos atravesaban el muro y ataban las dos hojas al núcleo.

En 2023, un equipo del MIT dirigido por Admir Masic estudió los pequeños grumos blancos de cal que aparecen en el hormigón romano. Concluyó que los constructores añadían parte de la cal como cal viva, que calienta la mezcla al reaccionar. Los grumos hacen de reserva: cuando el agua entra en una grieta, disuelve cal de ellos y deposita carbonato cálcico que sella la abertura. El equipo fabricó después morteros de ensayo modernos con cal viva añadida, los agrietó e hizo pasar agua por ellos; según el informe del MIT, las grietas se cerraron en unas dos semanas, mientras que una muestra de control sin cal viva no se reparó.

Los grumos blancos son nódulos de cal. Donde una grieta cruza uno, el agua puede disolver la cal y volver a cerrar la grieta con calcita.

El hormigón romano resiste menos a compresión que un hormigón moderno de cemento Portland y gana resistencia despacio. Los constructores lo tenían en cuenta: en el Panteón, arcos de ladrillo embebidos en los muros soportaban las cargas mientras el hormigón endurecía.

Cómo fabricarlo

Un pequeño bloque de prueba de unos 30 cm de largo basta para ver cómo se comporta el material. Considérelo solo una demostración, nunca un elemento portante. Use productos que se venden para trabajos de cal y restauración.

Reunir los materiales. Necesita cal hidratada en polvo, una puzolana natural u otra puzolana de las que se venden para morteros de cal, y árido: ladrillo roto o piedras limpias, del tamaño de una nuez al de un huevo. Use guantes y gafas desde el principio, trabaje en un lugar bien ventilado y evite levantar polvo.

Amasar el mortero. Use las proporciones en volumen que el proveedor de la puzolana indique para cal hidratada. Póngase una mascarilla filtrante bien ajustada, como piden las fichas de seguridad, y mezcle los polvos en seco. Añada agua poco a poco hasta que el mortero quede firme y pegajoso, no líquido.

Levantar las hojas. Humedezca antes los ladrillos y el árido de ladrillo, sin dejar agua encharcada, para que no le roben el agua al mortero fresco. Construya dos hojas cortas y delgadas de ladrillo con mortero de cal, un palmo de altura cada vez. Hacen de encofrado y se quedan en su sitio.

Rellenar el núcleo. Extienda una capa de mortero entre las hojas, hunda en ella el árido y luego apisone más mortero en los huecos con un pisón de madera hasta que no quede ninguno. Trabaje en capas de unos 6 a 8 cm, para que el mortero envuelva cada pieza, y termine con una hilada de ladrillos planos que atraviese todo el bloque.

Dejarlo curar despacio. Mantenga la obra húmeda y a la sombra al menos dos semanas, cubierta con sacos mojados, y protéjala de las heladas. La cal y la puzolana siguen ganando resistencia durante meses; rompa el bloque al cabo de unos meses para ver hasta dónde ha fraguado.

> **Seguridad.** La cal es cáustica. Quema la piel y puede dejar ciego: use guantes, manga larga y gafas cerradas, aclare enseguida cualquier salpicadura con abundante agua limpia y acuda al médico si afecta a los ojos. Póngase una mascarilla filtrante bien ajustada al verter o mezclar en seco la cal y la puzolana. No apague usted mismo cal viva ni intente la «mezcla en caliente» romana: la cal viva y el agua reaccionan con violencia, hierven y salpican. Esta mezcla casera no está ensayada: no la use para peldaños, muros ni nada que deba soportar una carga.

Historia y evolución

Los morteros de cal se usaban en el Mediterráneo mucho antes de Roma; los constructores romanos los convirtieron en un material estructural. El hormigón era de uso corriente hacia el 150 a. C., y algunos investigadores sitúan sus comienzos un siglo antes. El hormigón que fragua bajo el agua se desarrolló probablemente en torno al golfo de Nápoles, de donde procede la ceniza, antes de finales del siglo II a. C.; qué obras portuarias conservadas son las más antiguas es objeto de debate.

En época imperial sostuvo la mayoría de los grandes edificios. El puerto de Herodes en Cesarea, construido desde hacia el 22 a. C., se hizo con ceniza traída de Italia. El Panteón, reconstruido bajo Adriano aproximadamente entre los años 117 y 125 d. C., tiene una cúpula de 43,3 m de diámetro con una abertura redonda de unos 9 m en lo alto. Sus muros tienen cerca de 6 m de grosor, y el árido pasa del pesado travertino de los cimientos a la toba y el ladrillo, y a la ligera piedra pómez con toba en la parte alta de la cúpula. Sigue siendo la mayor cúpula de hormigón sin armar del mundo.

Tras la caída del Imperio de Occidente, la gran construcción en hormigón se volvió rara y el mortero de cal volvió a servir sobre todo para unir la fábrica. El hormigón moderno, de cemento Portland y a menudo armado con acero,

fragua antes y es más resistente, pero en el agua de mar puede agrietarse, y su acero corroerse, en pocas décadas si está mal hecho o mal protegido. Hoy se estudian los testigos de los puertos romanos y los nódulos de cal para lograr hormigones más duraderos y que emitan menos dióxido de carbono.

Cifras clave

Aglomerante
Cal, a menudo con ceniza volcánica (puzolana)

Mezcla para obras bajo el agua
Cerca de 1 parte de cal por 2 de ceniza (Vitruvio)

Cúpula del Panteón
43,3 m de diámetro, sin armadura, terminada hacia el 125 d. C.

Densidad del hormigón del Panteón
Unos 2200 kg/m^3 en los cimientos, 1350 kg/m^3 cerca de la cima

Fuentes

1. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II (lime and pozzolana) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book V, chapter 12 (harbours) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/5*.html
3. Hot mixing and the durability of ancient Roman concrete (news release, 6 January 2023) · MIT News https://news.mit.edu/2023/roman-concrete-durability-lime-casts-0106
4. How seawater strengthens ancient Roman concrete (news release, 3 July 2017) · University of Utah, via EurekAlert! https://www.eurekalert.org/news-releases/778694
5. The Pantheon: crown jewel of Roman concrete (David Moore, Constructor, 2002) · Associated General Contractors of America (Constructor magazine) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%c3%a7onnerie/B%c3%a9tonRomain/RomanConcretePantheon-Moore2002.pdf
6. Roman concrete · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Roman_concrete
7. A comparison of the chemical and engineering characteristics of ancient Roman hydraulic concrete with a modern reproduction of Vitruvian hydraulic concrete (Gotti, Oleson et al., Archaeometry 50, 2008) · University of Oxford / Wiley (Archaeometry) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%C3%A7onnerie/B%C3%A9tonRomain/RomanConcrete-Gotti2008.pdf
8. Building for Eternity: the History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea (J. P. Oleson ed., 2014) · Oxbow Books https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/AUTHORS/Oleson2014-BuildingforEternity.pdf
9. Building a Roman pila: the ROMACONS experiment at Brindisi, September 2004 · J. P. Oleson, University of Victoria https://web.uvic.ca/~jpoleson/Harbour%20Concrete/ROMACONS04Pila.html
10. FEM static and dynamic modeling of Roman vaulted monuments in opus caementicium (R. Perucchio, 2012) · University of Rochester, via SAHC Masters https://msc-sahc.org/wp-content/uploads/2020/07/5-fem-roman-vaults-guimaraes-1oct2012.pdf

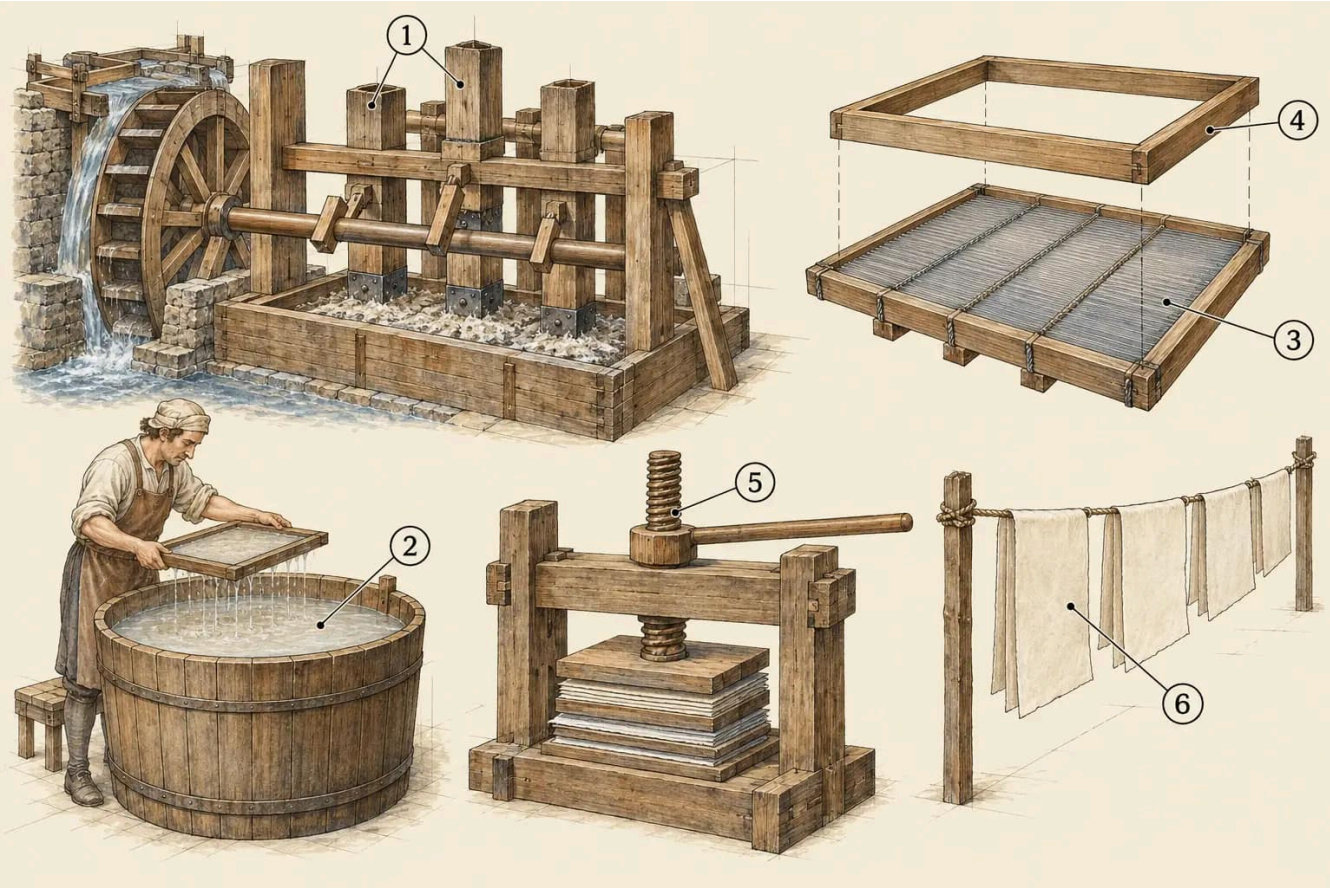
Datos verificados el 2026-10-12

Papel

Un soporte barato para la memoria

h. 150 a. C. · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Cerámica (p. 23)
Conduce a: Globo aerostático (p. 230), Imprenta (p. 204)



1 Mazos que baten los trapos hasta convertirlos en pasta 2 Tina de pasta 3 Molde 4 Bastidor
5 Prensa de husillo con una posta de fieltros y hojas 6 Hojas colgadas para secar

El papel es una fina lámina de fibras vegetales, batidas en agua, recogidas sobre un tamiz y secadas hasta que se unen unas con otras. Más ligero que las tablillas de bambú y más barato que la seda o el pergamino, llevó la escritura y luego la imprenta desde la China de los Han al resto del mundo.

Qué es

El papel es una hoja de fibras vegetales separadas, mezcladas con agua y asentadas en una capa fina. Al secarse, la capa se mantiene unida sin cola. El papiro, en cambio, se hace con tiras de la médula del papiro, una juncia, prensadas en cruz, y el pergamino es piel de animal.

Puede fabricarse incluso con desechos como trapos y redes de pesca gastadas. Desde hace unos dos mil años sirve de soporte a escritos, impresos, billetes y mapas.

La lámina muestra el método manual europeo, usado hasta la llegada de las máquinas en el siglo XIX.

Cómo funciona

La resistencia del papel procede de la celulosa, la molécula larga de las paredes celulares vegetales. Batidas en agua, las fibras se hinchan y se abren en fibrillas. Al secarse la capa húmeda, el agua junta las fibras y se forman puentes de hidrógeno donde se tocan. El agua los deshace, y por eso el papel mojado se rompe tan fácilmente.

Primero se hace la pasta. En China, la corteza, el cáñamo y más tarde el bambú se remojaban, se cocían y se machacaban. En Europa, los trapos de lino y cáñamo se dejaban pudrir unas semanas y luego se batían en pilas con mazos de madera alzados por las levas del eje de una rueda hidráulica.

La pasta se diluye en una tina de agua hasta que parece leche aguada. El oficial de tina sumerge el molde, un marco de madera con alambres finos, y lo saca plano. Encima va un marco suelto, el bastidor, que fija el borde de la hoja. Mientras escurre el agua, sacude el molde brevemente en ambos sentidos para que las fibras se crucen y se traben.

El ponedor vuelca el molde sobre un fieltro de lana, donde queda la hoja húmeda. Fieltros y hojas se apilan en una posta, que va a una prensa de husillo para soltar gran parte del agua. Después las hojas se secan en cuerdas. Para escribir con pluma y tinta, en Europa se bañaban en gelatina animal; sin ella, la tinta se corre como en papel secante.

Alambres finos para los puntizones, alambres más gruesos para los corondeles y una filigrana cosida con alambre.

Cómo fabricarlo

Corteza, cáñamo, trapos y redes viejas: los materiales que cita el informe de Cai Lun del año 105.

Los trapos de algodón o lino, el cáñamo y la corteza interior de la morera son las fibras más fáciles. La madera exige molienda mecánica o cocción química.

Preparar la fibra. Trocea los trapos. Remójalos varios días y luego bátelos con una mano de mortero o un mazo sobre una piedra plana, hasta que una pizca agitada en un tarro con agua se abra en una nube suelta, sin hilos. La corteza se hierve unas horas en agua con ceniza de leña, en una olla de hierro o de acero inoxidable (nunca de aluminio); luego se aclara hasta que el agua salga limpia y la fibra ya no resbale entre los dedos, y se bate.

Hacer el molde y el bastidor. Construye dos marcos iguales de madera de fibra recta, del tamaño de la hoja deseada. Sobre uno, tensa una malla fina: alambre de latón, tela muy tupida o tallos finos de bambú o de hierba atados uno junto a otro, como en Asia. El marco desnudo es el bastidor.

Formar la hoja. Llena la cuba de agua y añade pasta hasta que se enturbie. Sujeta juntos molde y bastidor, introdúcelos por el lado más alejado, sácalos planos y sacúdelos suavemente mientras escurren.

Poner y prensar. Retira el bastidor, vuelca el molde boca abajo sobre un fieltro húmedo y presiona el dorso para dejar la hoja en el fieltro. Coloca otro fieltro encima y repite. Prensa la pila entre tablas con peso o en una prensa de husillo.

Secar y encolar. Cuelga las hojas en una cuerda o extiéndelas con una brocha sobre una tabla lisa. Para escribir con tinta, sumerge las hojas secas en gelatina tibia y diluida o en engrudo de almidón, y déjalas secar de nuevo.

> **Seguridad.** La lejía de ceniza quema la piel y los ojos: usa guantes y protección ocular, y hierve la fibra al aire libre. El suelo junto a la tina está siempre mojado y resbala. Los mazos movidos por agua y las prensas de husillo pueden aplastar dedos: antes de meter la mano, desacopla la rueda, bloquea los mazos para que no puedan caer y afloja la prensa.

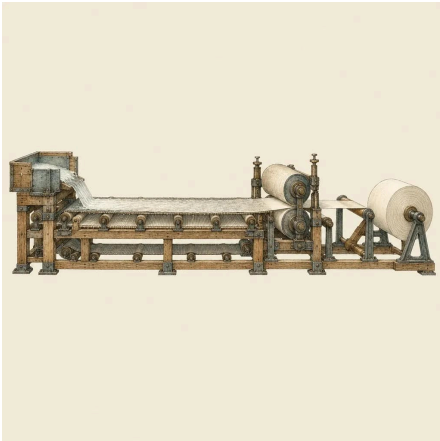
Historia y evolución

Durante siglos se atribuyó el invento a Cai Lun, funcionario de la corte de los Han orientales, que en 105 d. C. presentó al emperador un método para hacer papel con corteza, desechos de cáñamo, trapos y redes de pesca. La arqueología ha hecho retroceder la fecha: un fragmento con un mapa, hallado en una tumba de Fangmatan (Gansu), data del siglo II a. C. Probablemente Cai Lun mejoró el proceso y lo hizo práctico para escribir.

El papel llegó a Corea, a Vietnam y, a comienzos del siglo VII, a Japón. Se duda de que unos prisioneros chinos capturados en Talas en 751 lo llevaran a Samarcanda, porque allí ya se usaba papel. Desde el mundo islámico el oficio pasó a España, donde Xàtiva fabricaba papel ya en el siglo XII.

En el siglo XIII, los molinos de Fabriano, en Italia, adoptaron los mazos movidos por agua, el encolado con gelatina y la filigrana. Ulman Stromer fundó en Núremberg, en 1390, el primer molino papelero documentado en tierras alemanas.

En 1799, el francés Louis-Nicolas Robert patentó una máquina que formaba el papel sobre una tela metálica sin fin. Los hermanos Fourdrinier financiaron su desarrollo en Inglaterra, y las máquinas modernas conservan la misma disposición. En la década de 1840, Friedrich Gottlob Keller en Sajonia y Charles Fenerty en Nueva Escocia demostraron que la madera triturada podía sustituir a los trapos. El papel de pasta de madera abarató los periódicos, pero buena parte era ácido, y muchos libros del siglo XIX están amarillos y quebradizos, mientras que el papel de trapo del siglo XV sigue flexible.



En la máquina de papel, el molde se convirtió en una tela metálica sin fin y la hoja en una banda continua.

Cifras clave

Fragmento más antiguo conocido
Mapa de Fangmatan (Gansu), entre 179 y 141 a. C.

Primer molino papelero en tierras alemanas
Núremberg, 1390

Primera patente de máquina de papel
Louis-Nicolas Robert, Francia, 1799

Informe de Cai Lun al emperador
105 d. C.

Producción de un equipo de tina a mano
Entre 1000 y 4500 hojas en una larga jornada, aproximadamente

Fuentes

1. History of paper · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_paper
2. The oldest paper on Earth to be displayed (Fangmatan map) · Hong Kong SAR Government https://www.info.gov.hk/gia/general/199809/05/0904159.htm
3. Cai Lun invents paper · EBSCO Research Starters https://ebsco.com/research-starters/history/cai-lun-invents-paper
4. Topics in Preservation Science: Fabriano paper · Library of Congress https://loc.gov/preservation/outreach/tops/albro/index.html
5. The history of papermaking · Confederation of European Paper Industries (CEPI) https://cepi.org/?p=768
6. Magnolia PaperWeight: an app for hand papermakers and paper conservators · Magnolia Editions (Donald Farnsworth) https://www.magnoliaeditions.com/wp-content/uploads/2021/05/PaperWeight-article-V2.1.pdf
7. Cranberry Corner No. 5 · Guild of Book Workers Newsletter (Edward H. Snider) https://guildofbookworkers.org/sites/default/files/newsletter/gbw115/paper.html
8. European Papermaking Techniques 1300–1800 · University of Iowa (Timothy Barrett) https://paper.lib.uiowa.edu/european.php
9. Chain lines · Mills Archive https://millsarchive.org/glossary/a-z-glossary/2794

Datos verificados el 2026-10-11

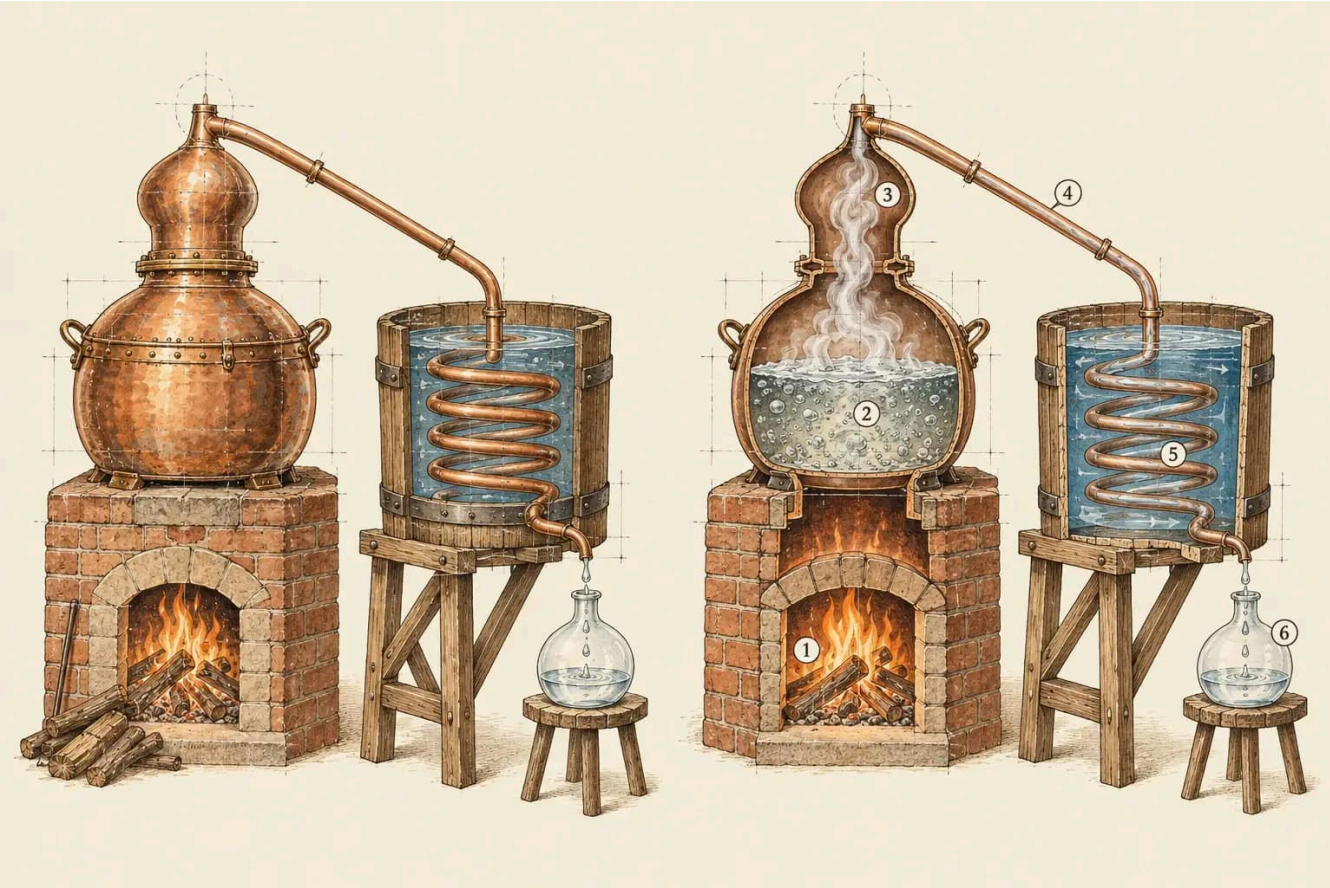
Destilación

Separar líquidos hirviendo y condensando

h. 300 · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Cerámica (p. 23), Dominio del fuego (p. 9)

Conduce a: Higiene y antisepsia (p. 298), Motor de combustión interna (p. 313), Refrigeración (p. 281)



1 Fuego del horno 2 Caldera con el líquido hirviendo 3 Capitel 4 Tubo del vapor 5 Serpentín en una tina de agua fría 6 Recipiente colector

La destilación separa los componentes de un líquido calentándolo hasta que parte de él se evapora y enfriando ese vapor para recogerlo de nuevo como líquido en otro recipiente. Descrita en el Egipto romano hacia el año 300 d. C., ha dado agua pura, perfumes y aceites esenciales, alcohol para la medicina y, desde el siglo XIX, los combustibles que se refinan del petróleo.

Qué es

Destilar es separar sustancias evaporándolas y condensándolas. Se calienta un líquido, casi siempre hasta que hierve, para que parte de él se convierta en vapor; ese vapor se conduce a otro lugar, se enfría y vuelve a ser líquido en otro recipiente. Lo que no se evapora se queda en la caldera: la sal, el barro, los tintes, la mayoría de los gérmenes.

Los boticarios la usaban para preparar medicinas y aguas olorosas, los perfumistas para sacar el aroma de las flores y los médicos para obtener el alcohol fuerte con el que disolvían fármacos y curaban heridas. Laboratorios y

hospitales emplean agua destilada porque apenas lleva sales disueltas, y por la misma razón se rellenan con ella las baterías de plomo.

La lámina muestra un alambique de principios del siglo XVI, tal como aparecía en los primeros libros impresos sobre el arte de destilar: una caldera de cobre sobre un hornillo, un capitel abombado y un tubo que serpentea por una tina de agua fría antes de gotear en un frasco.

Cómo funciona

Todo líquido desprende vapor, más cuanto más caliente está, y hierve cuando la presión de ese vapor iguala la del aire. A nivel del mar, el agua hierve a 100 °C, el etanol, el alcohol del vino, hacia 78 °C, y el metanol hacia 65 °C. Las sales casi no se evaporan, así que al hervir agua de mar y condensar el vapor se obtiene agua dulce.

El fuego calienta la caldera y el vapor sube al capitel. Desde allí baja por un tubo hasta el serpentín, una espiral metida en agua fría que le quita el calor. El vapor se condensa dentro del cobre y cae gota a gota en el recipiente colector.

Los aceites esenciales se obtienen por arrastre de vapor. El vapor atraviesa flores, hojas o cáscaras y se lleva su aceite aromático. Aceite y agua no se mezclan, de modo que cada uno aporta su propia presión de vapor y la mezcla hierve por debajo de 100 °C, aunque el aceite solo no herviría hasta pasar de 250 °C. Así el aceite pasa sin quemarse y forma una capa aparte en el recipiente.

En el vaso florentino el aceite flota sobre el agua, que sale por el tubo lateral.

Cuando en la caldera hay dos líquidos miscibles que se evaporan, como el agua y el alcohol, la separación es solo parcial. El vapor es más rico en el más volátil, pero nunca puro, y por eso los destiladores volvían a pasar el producto por el alambique. Una columna de fraccionamiento repite la operación muchas veces de una sola pasada: el vapor que sube se cruza con el líquido que baja, el reflujo, y en cada nivel una parte se condensa y vuelve a hervir. Las refinerías separan así el crudo en gas, gasolina, queroseno, gasóleo y residuos pesados según sus intervalos de ebullición.

Cómo hacerla

Este apartado trata de una sola cosa: obtener agua potable de agua salada o turbia. No explica cómo hacer alcohol. Destilar aguardiente en casa está prohibido sin licencia en muchos países, y un alambique mal llevado puede concentrar metanol, que ciega y mata en pequeñas cantidades y no se nota ni por el sabor ni por el olor.

Destilador solar. Ponga unos centímetros de agua en una bandeja oscura y poco honda, a pleno sol. Cúbrala con un vidrio limpio, o con un plástico transparente apto para alimentos que aguante el calor, inclinado para que las gotas resbalen por la cara inferior hasta una canaleta en el borde bajo, que lleve a un tarro de vidrio tapado. Selle los bordes para que no escape el vapor. Con sol tropical, un destilador bien hecho da dos o tres litros por metro cuadrado al día; en otros climas, y con materiales improvisados, cuente con menos.

Olla y tapa. Llene una olla grande de metal hasta la mitad y póngala al fuego. En el centro coloque un cuenco pequeño y limpio de metal sobre una piedra, con el borde bien por encima del agua. Ponga una tapa de metal del revés, con el asa hacia el cuenco, y enfríela con nieve, agua fría o un paño mojado; no enfríe nunca así una tapa de vidrio, porque puede estallar. Mantenga un hervor suave: si borbotea con fuerza, salpicará agua sin tratar dentro del cuenco.

Con la tapa del revés, el agua que se condensa en ella corre hacia el asa y gotea en el cuenco.

Vigile las fugas. Deje secar unas gotas del agua recogida en un plato oscuro y limpio. Una costra blanca indica que el agua sin tratar salpica o se filtra hacia el recipiente. Un plato limpio no prueba nada más: ni que el destilador separe bien ni que el agua sea segura, porque un agua clara puede llevar sustancias nocivas y solo un análisis de laboratorio lo aclara.

Conozca los límites. La destilación deja atrás la sal, metales como el plomo, los nitratos y los gérmenes. No elimina con seguridad las sustancias que hierven cerca de 100 °C o por debajo, como algunos disolventes y combustibles, y otros productos químicos pasan con el vapor: si la fuente puede estar contaminada por ellos, busque otra. Guarde el agua en recipientes limpios y tapados de vidrio, acero inoxidable o plástico apto para alimentos, porque los gérmenes vuelven enseguida. Evite la loza vidriada, cuyo esmalte puede soltar plomo.

> **Seguridad.** El vapor quema más que el agua hirviendo: levante las tapas apartándolas de la cara. No cierre nunca herméticamente un recipiente que se está calentando ni ate su tapa; el vapor necesita una salida o la olla puede reventar. El vidrio corriente se raja sobre la llama o con un enfriamiento brusco. Vigile el fuego, manténgalo lejos de la hierba seca y a los niños a distancia. No destile nunca combustible, alcohol ni líquidos desconocidos: sus vapores arden, y el metanol de un líquido fermentado pasa al destilado.

Historia y evolución

En Tepe Gawra, en el norte de Irak, hay vasijas de los milenios V y IV a. C. con un canal alrededor de la boca que pudo recoger un líquido condensado. En experimentos publicados en 2020, unas réplicas dieron agua perfumada, pero el uso original de esas vasijas sigue en discusión.

Las primeras descripciones claras de alambiques proceden del Egipto romano. Hacia el año 300 d. C., el alquimista Zósimo de Panópolis escribió sobre alambiques de uno o varios tubos y atribuyó algunos a María la Judía. Alquimistas y médicos del mundo islámico adoptaron el aparato, y su nombre árabe, al-anbiq, dio «alambique». En el siglo IX, el filósofo al-Kindi escribió un libro sobre perfumes y destilación con más de cien recetas.

El tribikos de los alquimistas alejandrinos llevaba el vapor por tres caños a tres frascos.

En Bolonia, en la década de 1270, unos médicos describieron el aqua vitae, el «agua de vida», alcohol destilado del vino que se usaba como remedio. En Estrasburgo, el cirujano Hieronymus Brunschwig publicó en 1500 el primer manual impreso sobre la destilación de aguas medicinales, y en 1512 una obra más extensa.

En 1830 el irlandés Aeneas Coffey patentó un alambique de dos columnas que trabajaba sin parar en lugar de por tandas. Hacia 1854 Samuel Kier dirigía en Pittsburgh una de las primeras refinerías de petróleo y destilaba el crudo para sacar queroseno de lámpara. En 2011 la destilación aún suponía cerca de un tercio de la capacidad de desalación instalada en el mundo, a menudo en plantas que aprovechan el calor sobrante de centrales eléctricas.

Cifras clave

Puntos de ebullición a nivel del mar

Agua 100 °C, etanol unos 78 °C, metanol unos 65 °C

Destilador solar sencillo

Entre 2,3 y 3 litros por metro cuadrado al día con sol tropical

Desalación en 2011

Cerca de un tercio de la capacidad mundial por destilación, el 60 % por ósmosis inversa

Primera descripción clara de un alambique

Zósimo de Panópolis, Egipto, hacia el 300 d. C.

Alambique continuo de columnas

Patentado por Aeneas Coffey en 1830

Fuentes

1. Ancient Distillation and Experimental Archaeology about the Prehistoric Apparatuses of Tepe Gawra (Belgiorno, 2020) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10508
2. Zosimos of Panopolis · Complete Dictionary of Scientific Biography, via Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/zosimos-panopolis
3. Classic kit: Mary's bath (Sella, 2009) · Chemistry World, Royal Society of Chemistry https://www.chemistryworld.com/opinion/classic-kit-marys-bath/3004925.article
4. Distillation · Foundation for Science, Technology and Civilisation (Muslim Heritage) https://muslimheritage.com/distillation/
5. Al-Kindī's Attack on Alchemy and His Perfume Making (Inoue, 2017) · Orient 52, Society for Near Eastern Studies in Japan https://www.jstage.jst.go.jp/article/orient/52/0/52_72/_article
6. Aqua vitae (Wondrich) · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/acref-9780199311132-e-1030
7. Coffey, Aeneas · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/id/acref-9780199311132-e-1328
8. Distilling reliable remedies: Hieronymus Brunschwig's Liber de arte distillandi (1500) (Taape) · Ambix 61, Apollo repository, University of Cambridge https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/260374
9. Liber de arte Distillandi de Compositis (Brunschwig, 1512) · Science History Institute https://digital.sciencehistory.org/works/1jcqz5i
10. Steam Distillation: Separation Theory (Nichols) · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Courses/SUNY_Oneonta/Chem_221%3A_Organic_Chemistry_I_(Bennett)/2%3ALab_Textbook_(Nichols)/05%3A_Distillation/5.05%3A_Steam_Distillation/5.5C%3A_Separation_Theory
11. Drinking Water Treatment: Distillation (G1493) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1493/html/view
12. Solar distillation · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Solar%20energy/solar-distillation/page5.html
13. Some Petroleum Pioneers of Pittsburgh (Mann, 2009) · Heinz History Center https://www.heinzhistorycenter.org/wp-content/uploads/2022/08/4-Petroleum-Pioneers.pdf
14. Modern technology and economical developments in desalination on emphasis of nuclear methodology (Abdallah) · Acta Technica Corviniensis, 2018 https://acta.fih.upt.ro/pdf/2018-2/ACTA-2018-2-08.pdf
15. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data (Sharqawy, Lienhard and Zubair, 2010) · Desalination and Water Treatment 16, via DSpace@MIT https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/69157

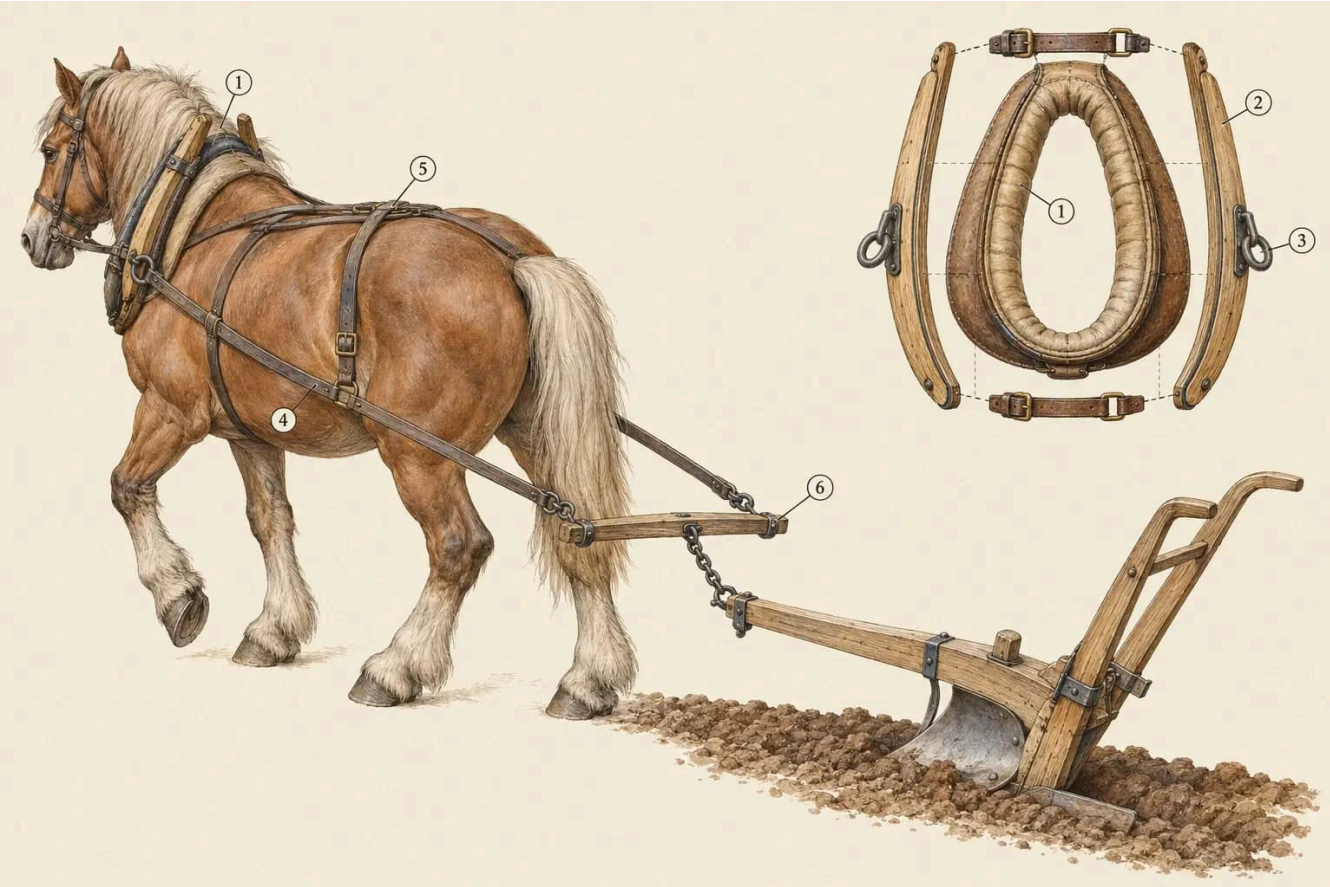
Datos verificados el 2026-10-14

Collera

El caballo tira con los hombros

h. 480 · Antigüedad · Oficios y ciudades

Requiere: Curtido del cuero (p. 101), Cuerda y cordaje (p. 13)



1 Collera acolchada 2 Horcates 3 Gancho del horcate 4 Tirante 5 Correa de lomo 6 Balancín

La collera es un anillo rígido y acolchado que apoya en los hombros del caballo; los tirantes se enganchan a ella cerca de la punta del hombro. Así el caballo puede echar todo su peso sobre la carga sin oprimir la tráquea, y en la Europa medieval asumió buena parte del arado y el acarreo que antes hacían los bueyes.

Qué es

La collera es un anillo de cuero relleno de paja, con la forma justa para asentarse en la base del cuello, contra la parte delantera de los hombros. Dos piezas curvas de madera o de hierro, los horcates, van sujetas con correas en una ranura que rodea la collera, y en ellas se enganchan los tirantes que arrastran la carga. Una correa sobre el lomo mantiene los tirantes a la altura debida, y un travesaño de madera, el balancín, une sus extremos al arado o al carro.

Con este arnés el caballo empuja con el pecho y los hombros, igual que una persona se inclina sobre una carretilla de mano. Junto con la herradura clavada y el arado pesado, la collera ayudó al caballo a sustituir al buey en muchas granjas del norte de Europa durante la Edad Media.

Cómo funciona

Al principio se uncía al caballo como al buey. La lanza del carro llegaba a un yugo sobre el cuello o la cruz de la pareja, el saliente encima de los hombros, sujeto por una correa alrededor de cada cuello. Los caballos de carro egipcios llevaban horquillas de yugo que apoyaban en los hombros, y los tiros griegos y romanos tiraban sobre todo contra una correa de pecho. Richard Lefebvre des Noëttes lo reconstruyó todo como una correa que subía y oprimía la tráquea. Los experimentos posteriores lo contradicen (véase la historia).

El arnés «de garganta y cincha» tal como lo dibujaron durante mucho tiempo los historiadores: un yugo sobre la cruz, una correa al cuello y una cincha.

El buey se adapta mejor al yugo. Su cuello es corto y grueso, y muchas razas tienen una giba o un rodete de músculo delante de la cruz en el que apoya el madero. El yugo de cabeza se ata a los cuernos; el yugo de cuello descansa sobre el cuello, por delante de los hombros. El caballo, en cambio, tiene el cuello largo y la tráquea justo bajo la piel.

Bueyes bajo un yugo de cuello: el madero apoya en el cuello delante de los hombros y unos arcos de madera lo cierran por debajo.

Primero llegó el pretal: una correa ancha que cruza el pecho por debajo de la tráquea, con los tirantes saliendo de sus extremos. Es ligero y aún se usa en coches ligeros, pero con una carga pesada y a tirones se desplaza y roza.

La collera reparte el mismo empuje sobre una superficie mayor y más rígida. Su cara interior apoya en los músculos situados delante de las escápulas y deja un hueco en la garganta. Los horcates forman un marco rígido, de modo que cada tirante tira de toda la collera. Para bovinos de tiro, W. Micuta, de la Fundación Bellerive, calculó que una collera bien acolchada ofrece unos 1200 cm^2 de apoyo sobre ambos hombros, frente a unos 200 cm^2 de un yugo de cuello.

La línea de tiro importa tanto como el acolchado. Los ganchos de los horcates quedan un poco por encima de la punta del hombro, y cada tirante debe salir en ángulo recto con la inclinación del hombro. Si los tirantes suben hacia un enganche alto, hacen palanca y levantan la collera contra la garganta. El balancín gira sobre su centro, así que el caballo puede mover los hombros al andar sin dar tirones a la carga.

Cómo construirlo

Las colleras las cosen los guarnicioneros, con un rollo de paja apretada delante y una cara lisa hacia el caballo. Una buena collera de segunda mano, bien ajustada, suele ser mejor opción que una hecha en casa.

Elegir la talla. La collera se mide por dentro, de arriba abajo: 16 pulgadas (41 cm) o menos para un poni, 24 pulgadas (61 cm) o más para un caballo de tiro pesado. Un caballo de cuello grueso necesita además una collera más ancha por arriba.

Comprobar el ajuste. Apriete la collera contra los hombros, como si tirara. A los lados deben entrar los dedos planos entre el borde y el cuello, pero no la mano entera. Deje unos 5 cm en la garganta. Una collera demasiado corta sube y ahoga; una demasiado larga baja hasta la punta del hombro y roza.

Colocar los horcates. Deben apoyar planos en la ranura en toda su longitud. Abroche primero la correa de abajo y luego tense la de arriba bien recta.

Ajustar los tirantes. La correa de lomo sostiene los tirantes a la altura debida y la barriguera les impide subir con el esfuerzo. Regule ambas para que cada tirante salga del gancho en ángulo recto con el hombro, y enganche lo bastante bajo para que los tirantes nunca tiren de la collera hacia arriba.

La holgura en la garganta se comprueba con la collera apretada contra los hombros.

Vigilar las rozaduras. El pelo gastado y corto en el hombro es el primer aviso: corrija el ajuste antes de que se abra la piel y deje descansar al caballo herido hasta que cure. Si el caballo adelgaza, necesitará un acolchado o una collera más pequeña. En cada parada, levante la collera para que se refresquen los hombros; por la noche, limpie la cara de la collera y los hombros.

> **Seguridad.** Un caballo de tiro puede pesar cerca de una tonelada; puede cocear, desbocarse o aplastarle contra el carro. Aprenda con un carretero experimentado y pida a un ayudante que sujete al caballo mientras engancha o desengancha. Siga cada vez, de la misma manera, el orden de enganche y de desenganche que le hayan enseñado. No pase nunca por encima de un tirante, no se ponga entre el caballo y la carga y no se ate nunca a la carga con una cuerda o una rienda. Háblele al caballo antes de tocarle los cuartos traseros. Dele descansos y agua, y pare si el caballo da señales de angustia o el arnés se desplaza.

Historia y evolución

China abandonó el yugo antes que nadie. Una caja lacada del Estado de Chu, pintada en el siglo IV a. C., muestra caballos que tiran contra una barra cruzada sobre el pecho, y el pretal, más blando, es frecuente en los relieves de la época Han. La imagen clara más antigua de un arnés de collera es una pintura mural de la cueva 257 de Mogao, en Dunhuang, fechada en 477–499 d. C., aunque el acolchado no se distingue bien. Pita Kelekna sitúa el pretal y la collera en el primer milenio a. C.

La collera llegó a Europa en la Alta Edad Media, probablemente a través de Asia Central. Lynn White la situó hacia el año 800 en el mundo carolingio; W. Micuta habla del siglo XI. En el XII ya era común. Con herraduras para los suelos húmedos y avena de la rotación trienal, los caballos se hicieron cargo del arado en parte del norte, más deprisa que los bueyes.

Durante décadas se creyó que el arnés antiguo estrangulaba al caballo. Lefebvre des Noëttes probó una reconstrucción en 1910 y concluyó que dos caballos apenas arrastraban más de 500 kg. En experimentos publicados en 1977, Jean Spruytte reconstruyó arneses egipcios, griegos y romanos, demostró que aquella reconstrucción era errónea y arrastró cerca de una tonelada sobre arena con uno de ellos. Estos trabajos dejan a la collera su utilidad para el tiro lento y pesado, como el del arado, y descartan la idea de caballos antiguos asfixiados por su arnés.

Cifras clave

Imagen clara más antigua
Cueva 257 de Mogao, Dunhuang (China), 477–499 d. C.

En Europa
Hacia el año 800 en el mundo carolingio; extendida en los siglos XI–XII

Tallas de collera
Unas 16 a 24 pulgadas (41–61 cm), medidas por dentro, de arriba abajo

Holgura en la garganta
Unos 5 cm, con la collera apretada contra los hombros

Superficie de apoyo (bovinos de tiro)
Unos 1200 cm^2 para una collera acolchada sobre ambos hombros, frente a unos 200 cm^2 de un yugo de cuello (estimación de W. Micuta)

Fuentes

1. Technology in the Middle Ages (Lynn White Jr., in Technology in Western Civilization, 1967) · Oxford University Press (course reading, Manchester University) https://users.manchester.edu/facstaff/ssnaragon/kant/lp/Readings/White,%20Plow.html
2. L'attelage dans l'Antiquité. Le prestige d'une erreur scientifique (Marie-Claire Amouretti, 1991) · Annales. Économies, Sociétés, Civilisations 46-1 https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1991_num_46_1_278939
3. Roman Traction Systems: the dorsal yoke (Judith A. Weller) · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/rts/dorsal.html
4. The Lefebvre des Noëttes review page · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/ldn/index.html
5. The Swiss collar for developing countries (W. Micuta) · FAO https://www.fao.org/4/V0600T/v0600T0j.htm
6. Collars, Hames and Harness Fitting (Horse & Mule Association of America, Leaflet 276, 1944) · Small Farmer's Journal https://smallfarmersjournal.com/collars-hames-and-harness-fitting/
7. Hitching Safely (Jenifer Morrissey, with Doc Hammill) · Rural Heritage https://ruralheritage.com/hitching-safely/
8. Horse Collar Harnessing: Ancient Carriage Tech · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2025-10/24/content_420664.html
9. Efficient equine transport (Pita Kelekna) · Cambridge University Press blog https://cambridgeblog.org/2009/05/efficient-equine-transport/
10. Horse collar · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Horse_collar

Datos verificados el 2026-10-14

Pólvora

El explosivo de las armas de fuego y las minas

h. 850 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Dominio del fuego (p. 9), Carbón vegetal (p. 65)

1 Edificio del molino 2 Rueda hidráulica 3 Talud arbolado entre los edificios 4 Barril de pólvora con aros de cobre 5 Frasco de pólvora de cuerno 6 Cristales de salitre

La pólvora, o pólvora negra, es una mezcla de salitre, carbón vegetal y azufre que arde con enorme rapidez y desprende gases calientes y una nube de humo formada por partículas sólidas. Los alquimistas chinos dieron con ella en el siglo IX, y en los quinientos años siguientes se convirtió en la carga propulsora de cohetes, armas de fuego y cañones, y después en una herramienta de la minería y las obras públicas.

Qué es

La pólvora es el explosivo químico más antiguo que se conoce. Es un polvo negro o gris oscuro compuesto de tres sustancias: salitre (nitrato de potasio), carbón vegetal y azufre. Casi todos los combustibles necesitan aire para arder, pero la pólvora lleva consigo su propio oxígeno, así que arde en un espacio cerrado. En una fracción de segundo, buena parte de su masa se convierte en gas caliente, y la presión de ese gas puede expulsar una bala por el cañón de un arma o partir la roca.

Hasta el siglo XIX fue el único explosivo de uso corriente y la carga propulsora de todas las armas de fuego. Hoy se la llama pólvora negra, para distinguirla de las pólvoras sin humo que la sustituyeron en las armas de fuego a

partir de la década de 1880. Todavía se usa en fuegos artificiales, mechas de seguridad, armas de avancarga y algunas canteras.

La lámina muestra desde fuera una fábrica de pólvora del siglo XVIII. Los molinos se levantaban muy separados entre sí a lo largo de un río que movía sus ruedas, con taludes de tierra y árboles en medio, para que una explosión en uno tuviera menos probabilidades de alcanzar al siguiente. En el Brandywine, en Delaware, muchos tenían tres gruesos muros de piedra y un tejado y una fachada ligeros del lado del río, para que la onda de una explosión saliera por encima del agua. Junto a la escena aparecen un barril con aros de cobre, elegido porque el cobre saca chispas con mucha menos facilidad que el hierro, un frasco de cuerno en el que soldados y cazadores llevaban la pólvora, y unos cristales de salitre.

Cómo funciona

Arder es una reacción entre un combustible y el oxígeno. En un fuego de leña el oxígeno viene del aire, y el fuego no puede avanzar más deprisa de lo que el aire llega a la madera. En la pólvora, el oxígeno está en el salitre, mezclado íntimamente con el combustible. Cuando la pólvora se calienta, el salitre se descompone y cede su oxígeno en contacto directo con las partículas de combustible, y la reacción no tiene que esperar al aire.

Cada ingrediente cumple su función. El salitre es el oxidante y constituye la mayor parte de la masa. El carbón vegetal es el combustible principal; como es poroso, una pequeña cantidad ofrece mucha superficie al oxígeno. El azufre también es combustible, pero importa sobre todo porque baja la temperatura a la que la mezcla se inflama y hace que arda más rápido. La pureza del salitre y la clase de madera de la que salía el carbón cambiaban el comportamiento de una pólvora, y por eso los polvoristas cuidaban tanto lo uno como lo otro.

Los productos son en parte gases, sobre todo dióxido de carbono, nitrógeno y monóxido de carbono, y en parte sales de potasio sólidas. Algo menos de la mitad de la masa se convierte en gas. El resto sale en forma de un denso humo blanco y de un residuo que ensucia el cañón del arma, que había que limpiar a menudo.

La pólvora deflagra: arde muy deprisa, pero la reacción pasa de un grano a otro por el calor. Suelta y al aire libre, arde con un fogonazo y una nube de humo. Encerrada en un cañón, el gas no puede escapar, la presión sube, la pólvora arde aún más deprisa y el gas expulsa el proyectil. Los explosivos rompedores, como el TNT o la dinamita, detonan. Una onda de choque los recorre a varios kilómetros por segundo, más rápido de lo que viaja el sonido en el material, y la reacción termina casi al instante, con un golpe demoledor. La pólvora negra da un empuje más largo y más suave. Eso conviene a una carga propulsora, que tiene que acelerar una bala sin reventar el cañón, y explica que los canteros la usaran durante mucho tiempo para partir y levantar bloques de piedra que la dinamita habría hecho añicos.

Una chispa, una llama, el rozamiento, un golpe o la electricidad estática pueden inflamar la pólvora, y muchos trabajadores murieron en explosiones de molinos de pólvora. Su fabricación, su almacenamiento y su transporte están sometidos casi en todas partes a la legislación sobre explosivos.

Historia y evolución

Los alquimistas chinos de la dinastía Tang calentaban salitre, azufre y muchas otras sustancias en busca de elixires de larga vida. Un texto taoísta que suele fecharse a mediados del siglo IX advierte a los alquimistas contra ciertas mezclas con salitre: algunos que las habían calentado se quemaron las manos y la cara, e incluso les ardió la casa. Los historiadores discuten si un texto anterior, de 808, describe ya una mezcla parecida. La mezcla acabó llamándose *huoyao*, «medicina de fuego».

Los ejércitos chinos no tardaron en llevarla a la guerra. El *Wujing Zongyao*, un compendio militar terminado en 1044, describe armas incendiarias y de humo y contiene las fórmulas escritas más antiguas que se conservan. Un estandarte de seda de Dunhuang, pintado a mediados del siglo X, muestra una lanza de fuego, y las tropas Song usaron lanzas de fuego en el asedio de De'an en 1132. En el siglo XIII, los defensores Jin y Song arrojaban desde sus murallas bombas de pólvora contra los ejércitos mongoles que los asediaban, y el tubo de la lanza de fuego pasó a ser de metal y a cargarse con proyectiles. El cañón de mano de bronce hallado en la provincia de Heilongjiang no lleva fecha, pero el lugar del hallazgo lo relaciona con unos combates registrados en 1288, lo que lo convierte en una de las armas de fuego más antiguas que se conservan.

La lanza de fuego, un tubo de pólvora sujeto a una lanza, escupía llamas durante unos segundos a corta distancia.

Las primeras armas de fuego de mano chinas eran tubos cortos de bronce fijados a un asta de madera.

El conocimiento de la pólvora se extendió hacia el oeste a través del Imperio mongol y del mundo islámico en el siglo XIII. En el sultanato mameluco, el tratado del sirio Hasan al-Rammah, escrito a finales del siglo XIII, describe artefactos incendiarios y cohetes, y el fraile inglés Roger Bacon mencionó la pólvora en 1267. Las primeras noticias e imágenes de armas de fuego en Europa datan de la década de 1320: en 1326 la ciudad de Florencia encargó cañones de metal y su munición, y un tratado que Walter de Milemete escribió en 1326-1327 para el joven Eduardo III contiene el dibujo de un cañón. Veinte años después, los ingleses usaron probablemente unos pocos cañones pequeños en la batalla de Crécy. En el siglo XV, la artillería de asedio podía derribar en semanas las altas murallas medievales, y los ingenieros militares respondieron con muros bajos y gruesos y baluartes en ángulo.

El salitre era el ingrediente difícil de conseguir. En Europa, los salitreros tenían derecho a excavar el suelo de establos, palomares y bodegas, y más tarde los gobiernos crearon nitrerías donde se formaba en montones de tierra y estiércol. En el siglo XVII, las compañías comerciales europeas compraban grandes cantidades en la India, en Guyarat, Bihar y Bengala. En 1775 el químico Antoine Lavoisier pasó a ser uno de los cuatro comisarios de la nueva administración real de la pólvora en Francia y, desde su laboratorio del Arsenal de París, trabajó para mejorar el suministro y la calidad de la pólvora francesa. En el siglo XIX, los yacimientos de nitrato de sodio del desierto chileno abastecieron a la industria de los explosivos y de los abonos, hasta que unos químicos alemanes aprendieron a principios del siglo XX a fabricar compuestos de nitrógeno a partir del aire.

El salitre se forma despacio allí donde se pudren desechos orgánicos en un suelo húmedo, y durante siglos se rascó de muros y suelos como estos.

Los molinos de pólvora estuvieron entre los lugares de trabajo más peligrosos de la era industrial. Los de la familia du Pont a orillas del Brandywine, en Delaware, abiertos en 1802, sufrieron 288 explosiones y al menos 228 muertes antes de cerrar en 1921. A la entrada se registraba a los obreros en busca de cerillas y de piezas de metal en la ropa y el calzado. La pólvora excavó canales, túneles y minas: una de las menciones más antiguas de voladuras en una mina procede de Banská Štiavnica, en el reino de Hungría, en 1627. A partir de la década de 1870, la dinamita la sustituyó en la mayoría de las voladuras, y las pólvoras sin humo a base de nitrocelulosa sustituyeron a la pólvora

negra en las armas de fuego en las décadas de 1880 y 1890. La pólvora negra sobrevive en los fuegos artificiales, en las mechas y entre quienes disparan armas históricas.

Cifras clave

Advertencia escrita temprana
Mediados del siglo IX, texto alquímico taoísta, China

Fórmulas escritas más antiguas conservadas
1044, compendio militar Wujing Zongyao

Una de las armas de fuego más antiguas conservadas
Cañón de mano de bronce de Heilongjiang, fechado por su contexto hacia 1288

Primera imagen europea de un arma de fuego
1326-1327, manuscrito de Walter de Milemete, Inglaterra

Molinos de pólvora de Du Pont, Delaware (1802-1921)
288 explosiones, al menos 228 muertos

Fuentes

1. China in 1000 CE, Song dynasty module: gunpowder · Asia for Educators, Columbia University https://afe.easia.columbia.edu/songdynasty-module/tech-gunpowder.html
2. Christ Church MS 92: Walter of Milemete, De nobilitatibus, sapientiis et prudentiis regum (1326–1327) · Christ Church, Oxford (manuscript catalogue) https://www.chch.ox.ac.uk/sites/default/files/2023-09/MS-92.pdf
3. Eleutherian Mills (Hagley), National Register of Historic Places nomination form · U.S. National Park Service https://npgallery.nps.gov/NRHP/GetAsset/NHLS/66000259_text
4. Powder Yard Trail · Hagley Museum and Library https://www.hagley.org/pyt
5. Antoine-Laurent Lavoisier · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/antoine-laurent-lavoisier/
6. History of gunpowder · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_gunpowder
7. Heilongjiang hand cannon · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Heilongjiang_hand_cannon

Datos verificados el 2026-10-12

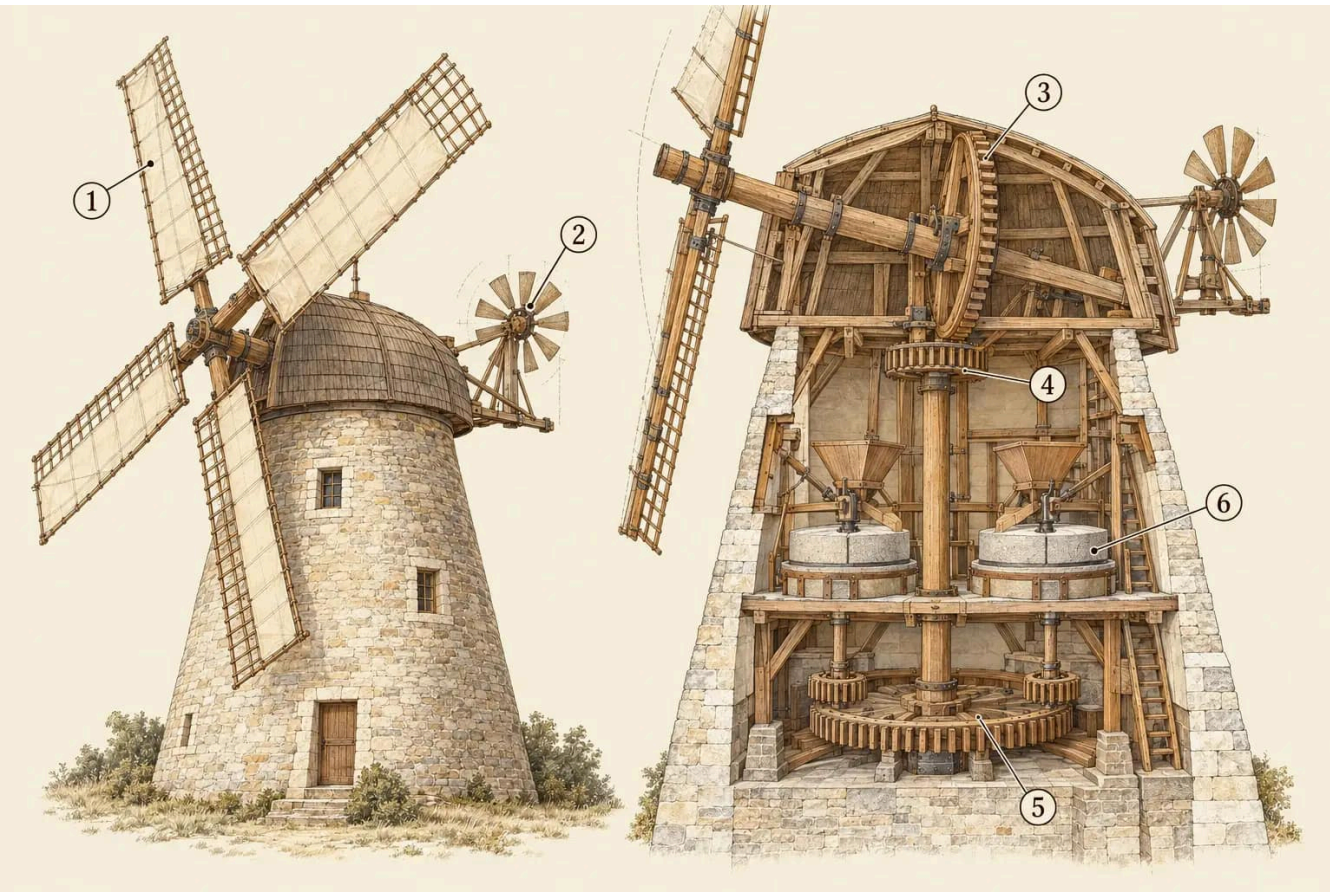
Molino de viento

El viento convertido en harina

h. 900 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Engranajes (p. 153), Rueda hidráulica (p. 157), Cuerda y cordaje (p. 13)

Conduce a: Aerogenerador (p. 339)



1 Aspas 2 Molinete de orientación 3 Rueda de freno 4 Linterna 5 Gran rueda dentada 6 Muelas

Un molino de viento capta el viento con grandes aspas y transmite esa energía, mediante engranajes de madera y hierro, a una muela que tritura el grano. Desde el siglo XII hasta la llegada del vapor fue, junto con la rueda hidráulica, la principal fuente de fuerza mecánica de Europa.

Qué es

Un molino de viento es una máquina que convierte el movimiento del aire en rotación, y esa rotación en trabajo útil. Durante la mayor parte de su historia, ese trabajo fue moler grano para hacer harina. También se usaron molinos de viento para desecar pólderes, aserrar madera, prensar semillas oleaginosas y triturar pigmentos.

El molino dibujado aquí es un molino de torre: una torre fija de piedra rematada por una caperuza que gira para poner las aspas de cara al viento. Este tipo se extendió por Europa desde la Baja Edad Media, porque la mampostería soporta aspas grandes y maquinaria pesada y la protege de la intemperie.

Cómo funciona

El viento empuja las aspas, que están algo alabeadas e inclinadas. Actúan como las palas de una hélice: parte del empuje se convierte en un par que hace girar el eje de las aspas, un árbol grueso, casi horizontal, alojado en la caperuza.

El molino de pivote gira entero sobre su poste; en el molino de torre solo gira la caperuza.

En ese eje va la rueda de freno, una gran rueda con los dientes clavados en una de sus caras. Engrana con la linterna, más pequeña, montada en el eje vertical, de modo que el giro pasa de horizontal a vertical y gana velocidad. Más abajo, la gran rueda dentada mueve un piñón pequeño en el eje de cada par de muelas. En el molino de Gedney Dyke, en Lincolnshire, una rueda de freno de 96 dientes movía una linterna de 68, y una gran rueda de 120 dientes, piñones de 18: entre las dos etapas, las muelas giraban unas nueve veces más rápido que las aspas.

La volandera descansa sobre la lavija, en la punta del palahierro de hierro que atraviesa la solera fija.

El palahierro, un eje de hierro, sube a través de la muela fija o solera. En su extremo lleva la lavija, una barra o cruz de hierro que encaja en unas muescas del ojo de la muela superior, la volandera, y soporta todo su peso. En algunos molinos la gran rueda está por encima de las muelas y el movimiento baja por un eje corto de hierro, pero la volandera sigue apoyada en el palahierro. El grano cae de la tolva al ojo. Los surcos labrados en las dos piedras lo cortan y empujan la molienda hacia el borde, por donde sale convertida en harina. El molinero sube o baja el palahierro con el alivio, y esa separación decide lo fina que será la harina.

La potencia del viento crece con el cubo de su velocidad: un viento el doble de fuerte trae ocho veces más energía. Ningún rotor puede aprovechar más del 59,3 %, el límite que publicó Albert Betz en 1920. Los molinos tradicionales quedan muy lejos de esa cifra.

Cómo construirlo

Un molino de viento necesita una comunidad organizada: carpinteros, canteros, un herrero y un molinero que sepa picar las muelas. Los pasos siguientes dan el orden del trabajo y las decisiones importantes; las medidas son cosa del constructor de molinos.

Elegir el lugar. Una loma despejada, lejos de árboles y edificios, abierta al viento dominante. A sotavento de un árbol o una casa, el aire sigue revuelto a lo largo de unas veinte veces su altura, así que conviene alejar los obstáculos del lado de donde sopla el viento.

Levantar la torre. Una torre troncocónica de piedra o ladrillo, con muros gruesos en la base. Arriba lleva un anillo nivelado de madera o hierro sobre el que gira la caperuza con rodillos.

Labrar el eje y las ruedas. El eje de las aspas se labra en un tronco de roble y se refuerza con hierro donde roza; desde finales del siglo XVIII muchos se fundieron en hierro. Las ruedas son de madera dura y los dientes son piezas sueltas, a menudo de carpe o de manzano, que se cambian cuando se gastan.

Hacer las aspas. Cuatro brazos llevan cada uno un enrejado de listones sobre el que se tiende una lona. Con el molino parado y las aspas encadenadas, el molinero tiende más o menos lona en cada aspa según el viento, igual que un marino toma rizos.

Escoger las muelas. La piedra debe ser dura y porosa. La piedra francesa de La Ferté-sous-Jouarre era muy buscada en toda Europa. Solía montarse con varios trozos unidos con yeso y ceñidos con aros de hierro.

Montar el freno. Una banda de madera aprieta la llanta de la rueda de freno. Debe sujetar las aspas con viento fuerte, así que se prueba primero con brisa suave, y un constructor de molinos debe confirmar que, con las cadenas de las aspas, aguantará un vendaval antes de poner el molino a trabajar.

> **Seguridad.** No pasar nunca por el recorrido de las aspas, aunque giren despacio, y no tocar un aspa sin haber echado el freno y encadenado las aspas. Vigilar el tiempo: recoger las lonas y asegurar el molino antes de que llegue el temporal, porque en pleno vendaval nadie puede trabajar en las aspas. Dentro, mantener manos, pelo y ropa suelta lejos de engranajes y ejes en movimiento. Un freno recalentado puede incendiar la caperuza, y muchos molinos ardieron así. El polvo de harina en el aire es inflamable: nada de llamas dentro.

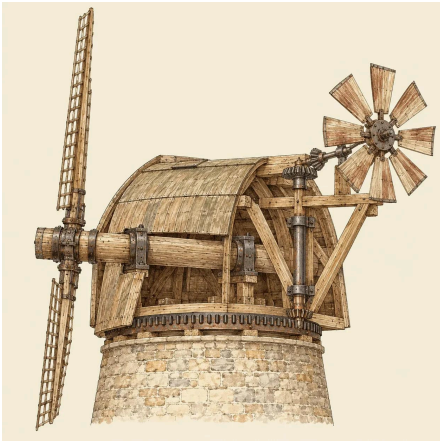
Historia y evolución

Los primeros molinos de viento bien documentados estaban en Sistán, en la actual frontera entre Irán y Afganistán. Los geógrafos árabes los describen en el siglo X, y quizá sean más antiguos. Sus aspas giran en torno a un eje vertical, entre muros que canalizan el viento.

El molino de eje horizontal aparece en Europa a finales del siglo XII. Uno de los registros fechados más antiguos es el de un molino de pivote en Weedley, en Yorkshire, anotado en 1185 en un inventario de tierras templarias. El molino de torre, en el que solo gira la caperuza, se difundió después y permitió molinos mucho mayores.

En 1745 el herrero inglés Edmund Lee patentó el molinete de orientación, una pequeña rueda de palas en la parte trasera de la caperuza. Cuando el viento cambia, el molinete empieza a girar y arrastra la caperuza hasta que las aspas vuelven a quedar de cara al viento. En 1772 el constructor de molinos escocés Andrew Meikle introdujo las aspas de resorte, hechas de persianas que se abren solas con las ráfagas.

A mediados del siglo XIX, los Países Bajos tenían entre nueve y diez mil molinos de viento, para moler y sobre todo para desecar tierras. La máquina de vapor y después el motor eléctrico los sustituyeron; hoy quedan allí alrededor de mil. Los aerogeneradores modernos aplican la misma física del rotor para mover generadores.



El molinete hace girar la caperuza sobre su anillo dentado hasta que las aspas vuelven a mirar al viento.

Cifras clave

Velocidad de las aspas
Unas 10–15 rpm con viento de trabajo

Velocidad de la muela volandera
Unas 100–150 rpm

Potencia
Crece con el cubo de la velocidad del viento

Límite teórico
59,3 % de la energía del viento (límite de Betz)

Fuentes

1. Windmill · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Windmill
2. Betz's law · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
3. Fantail (windmill) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fantail_(windmill)
4. Technical descriptions of English windmills · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/2019/09/13/technical-descriptions-of-english-windmills/31
5. Weedley windmill site (R. Gregory) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/library/index/?which=8434
6. First Windmill Use · Environment & Society Portal, Rachel Carson Center https://www.environmentandsociety.org/taxonomy/term/5347

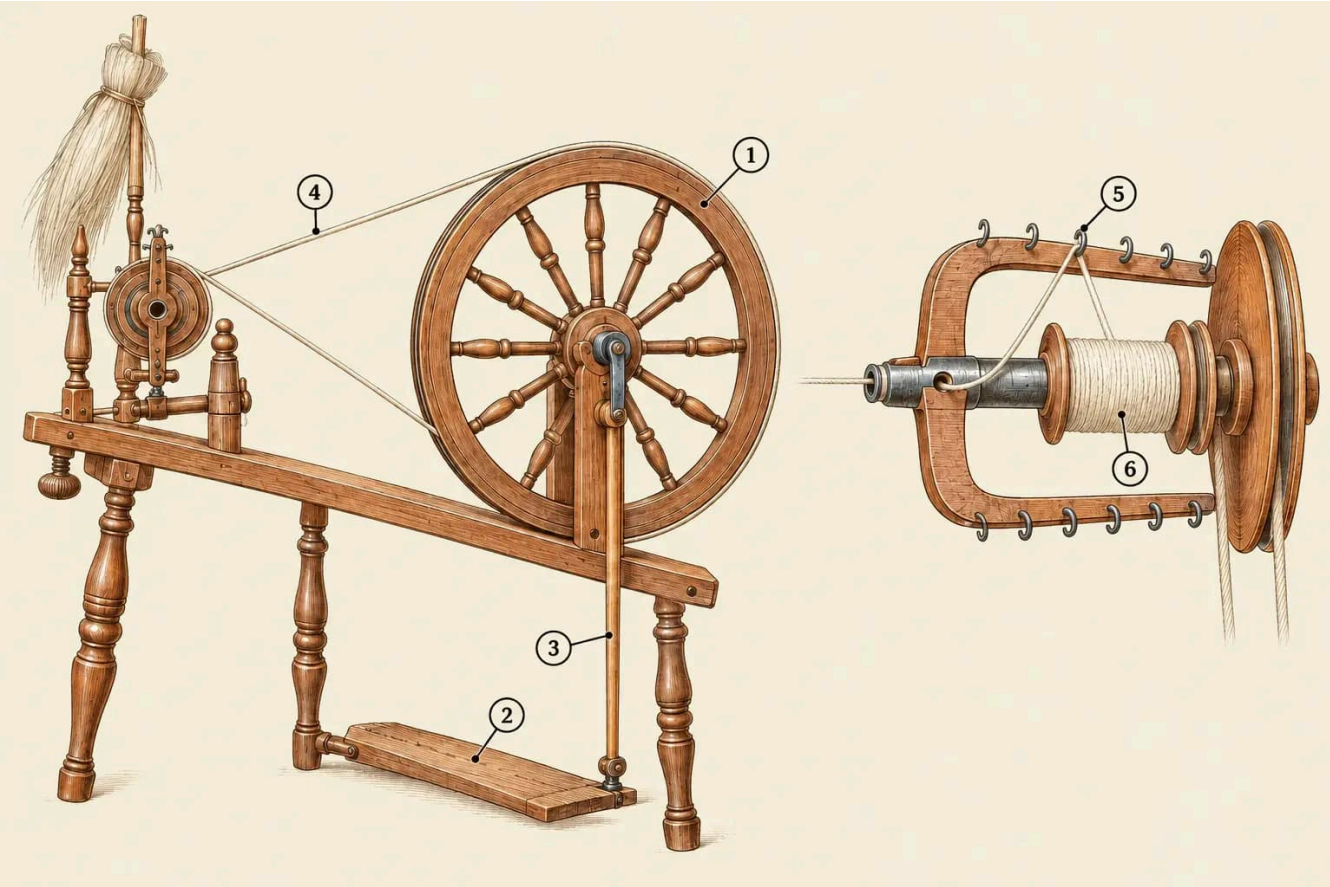
Datos verificados el 2026-10-11

Rueca

La fibra en hilo, más rápido

h. 1000 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Rueda y eje (p. 81), Cuerda y cordaje (p. 13)



1 Rueda motriz 2 Pedal 3 Biela (vara del pedal) 4 Cuerda de transmisión 5 Aletas con ganchos 6 Bobina

La rueca de rueda retuerce la fibra hasta hacer hilo con un huso movido por una gran rueda, mucho más deprisa que un huso de mano. La rueca de aletas, conocida en Alemania hacia 1480, además enrolla el hilo en una bobina mientras lo hila, de modo que hilar y devanar ya no se alternan.

Qué es

Hilar es convertir una masa de fibras cortas, como la lana, el lino o el algodón, en un hilo continuo. Ocurren dos cosas a la vez: las fibras se estiran en una mecha fina y regular, y la mecha se retuerce para que las fibras se agarren unas a otras. La torsión es lo que da fuerza al hilo.

Durante milenios se hizo con el huso de mano, un palito con un contrapeso, la tortera, que se hace girar con los dedos. La rueca de rueda coloca el huso en un bastidor y lo mueve con una gran rueda mediante una cuerda. Una vuelta de la rueda grande hace dar muchas vueltas al huso pequeño, que retuerce así mucho más deprisa de lo que podría una mano.

La lámina muestra una rueca sajona, de pedal y aletas, del tipo extendido por toda Europa desde el siglo XVI, aquí en un modelo del siglo XVIII.

Cómo funciona

En la rueda grande, uno de los tipos antiguos, el huso apunta sin más hacia la hilandera. Ella gira la rueda, sostiene la fibra en ángulo con la punta del huso y retrocede estirando un tramo de hilo mientras la torsión sube por él. Luego se detiene, pone el hilo perpendicular al huso y vuelve a girar la rueda para enrollar el tramo hilado. Hilar y devanar se alternan.

Antes de la rueda: huso y rueca. La tortera mantiene el giro del huso.

Las aletas eliminan esa pausa. El hilo entra en un huso hueco por un orificio en su extremo delantero, sale por un agujero lateral, recorre un brazo de unas aletas en forma de U, pasa por uno de sus ganchos y se enrolla en una bobina que va suelta sobre el huso. Aletas y bobina tienen cada una su polea acanalada, de tamaños distintos. Una sola cuerda sin fin da dos vueltas a la rueda grande y una a cada polea, de modo que la polea de la bobina, más pequeña, gira un poco más deprisa que las aletas.

El giro de las aletas retuerce el hilo. La pequeña diferencia de velocidad entre bobina y aletas lo enrolla tan deprisa como se hila. De vez en cuando la hilandera detiene la rueda y pasa el hilo de un gancho a otro para que la bobina se llene por igual, y ajusta un tornillo tensor que desplaza el conjunto de las aletas a lo largo del banco para tensar o aflojar la cuerda.

Las cardas de mano: la lana se carda entre dos cardas y se enrolla en mechas listas para hilar.

El pedal deja libres las dos manos. Una manivela en el eje de la rueda va unida por una vara de madera, la biela, a una tabla articulada bajo el pie de la hilandera. Cada pisada da un impulso a la rueda. Una mano aporta la fibra, desde una rueca o desde un rollo de lana cardada, y la otra controla la torsión. Las ruecas sajonas se usaban sobre todo para fibras largas como el lino y la lana. El lino se coloca en una rueca y se van sacando pocas fibras cada vez. La lana se carda antes entre dos cardas de mano y se enrolla en un cilindro blando, para que las fibras queden sueltas y se estiren por igual.

Cómo construirla

Una rueca de aletas exige piezas torneadas y un ajuste cuidadoso, trabajo para un carpintero experto con torno. Una rueda más sencilla, del tipo más antiguo, enseña el principio e hila lana.

Hacer el banco. Una tabla sólida de alrededor de 1 m sobre tres o cuatro patas, lo bastante alta para trabajar sentado o de pie. En un extremo, fije un poste que sostenga la rueda; en el otro, un poste más corto para el cabezal del huso.

Montar la rueda. Sirve cualquier rueda grande que gire sin oscilaciones y tenga la llanta acanalada: una rueda de madera de cubo, radios y llanta, o una rueda vieja de bicicleta sin neumático. Móntela en un eje sobre el poste y añada un mango cerca de la llanta para girarla.

Hacer el cabezal. Dos pequeños montantes sobre el poste corto sujetan una varilla recta de acero, con punta en un extremo, en lazos de cuero o pequeños rodamientos. Fije una pequeña polea acanalada en la varilla, entre los

montantes. La varilla queda atravesada en el banco, paralela al eje de la rueda, con la polea justo en línea con la ranura de la rueda para que la cuerda corra recta; la punta mira hacia el lado donde usted se coloca.

Poner la cuerda. Anude un lazo de cordón fuerte de algodón alrededor de la llanta y de la polea del huso, tenso para mover el huso sin patinar. Con una rueda de un diámetro unas diez veces mayor que el de la polea, el huso da unas diez vueltas por cada vuelta de la rueda.

Hilar. Ate una guía de hilo a la caña del huso, enrolle unas vueltas y súbala en espiral hasta la punta para que salga por ella. Solape su extremo con lana cardada, gire la rueda despacio y retroceda en ángulo con la punta, dejando que la torsión suba por la fibra. Para devanar, gire la rueda un poco hacia atrás para soltar la espiral, ponga el hilo perpendicular al huso y gire hacia delante; luego vuelva a llevar el hilo en espiral hasta la punta para el tramo siguiente. Cuando el huso esté lleno, devane el hilo en el aspa, ate la madeja sin apretar en varios puntos, sáquela y lávela para fijar la torsión.

El aspa de mano: el hilo se devana en una madeja de longitud conocida antes de lavarlo y teñirlo.

> **Seguridad.** Mantenga dedos, pelo y mangas holgadas lejos de la rueda que gira, de la cuerda y del huso, detenga la rueda antes de deshacer un enredo, y tape la punta afilada del huso cuando no use la rueca. Compruebe que la rueda de bicicleta o de madera está bien sujeta y no baila antes de girarla deprisa. Mantenga a los niños pequeños lejos de una rueda en marcha.

Historia y evolución

El origen de la rueca de rueda es discutido. Algunos historiadores lo sitúan en la India entre los años 500 y 1000 aproximadamente; otros en China, donde se usaba mucho hacia 1090, o en el mundo islámico, donde está documentada hacia 1030 y se representa con claridad en Bagdad en la década de 1230. Llegó a Europa en el siglo XIII; las imágenes europeas datan de hacia 1280, y las ordenanzas gremiales de Espira, en Alemania, la mencionan a finales del siglo XIII (en 1280 o en 1298, según la fuente). En Europa, rueda y huso convivieron durante mucho tiempo.

Las aletas aparecen en una ilustración alemana hacia 1480, y Leonardo da Vinci también dibujó unas. El pedal se añadió en el siglo XVI; una tradición lo atribuye a un artesano de Brunswick en 1533. Comparada con el huso, la rueda aumentó mucho la producción de una hilandera. El historiador Lynn White relacionó con ella la mayor abundancia de trapos de lino y, por tanto, de papel barato para la imprenta.

En la década de 1760, James Hargreaves construyó la spinning jenny, que movía muchos husos a la vez, y la water frame de Richard Arkwright y la mule de Samuel Crompton, de 1779, llevaron el hilado a las fábricas. En el siglo XX, Mahatma Gandhi hizo de la charkha, una rueca sencilla de manivela, el emblema de la autosuficiencia india, y todavía hoy hay quien hila a mano en ruecas de pedal.

Cifras clave

Primeras ruecas de rueda
Discutido: India, China o el mundo islámico, a más tardar en el siglo XI

Mención temprana en Europa
Ordenanzas gremiales de Espira (Alemania), finales del siglo XIII

Primeras aletas
Ilustración alemana hacia 1480

Pedal
Añadido en el siglo XVI

Fuentes

1. Spinning Wheel, British (Saxony wheel with flyer) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44835
2. Spinning (Bette Hochberg, Encyclopedia of Clothing and Fashion) · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/fashion/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/spinning
3. Saxon wheel; spinning wheel · Horniman Museum and Gardens https://www.horniman.ac.uk/object/11.40
4. Spinning wheel · Aotea Utanganui, Museum of South Taranaki https://museumofsouthtaranaki.wordpress.com/2016/03/11/spinning-wheel/
5. Spinning wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Spinning_wheel
6. Choosing the whorl to make the yarn you want (Rudy Amann) · Spin Off https://spinoffmagazine.com/choosing-the-whorl-to-make-the-yarn-you-want/
7. Sliding hook flyer, double drive: assembly instructions · Ashford Wheels & Looms https://ashford.co.nz/instructions/SHFDD.pdf
8. DRS spinning wheels revisited · A Fisherman Knits http://gansey.blogspot.com/2018/07/drs-spinning-wheels-revisited.html

Datos verificados el 2026-10-12

Brújula

Una aguja que señala el norte

h. 1088 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Reducción del hierro (p. 136), Acero (p. 140)

Conduce a: Navegación astronómica (p. 209)

1 Anillos de cardán 2 Mortero 3 Rosa de los vientos 4 Aguja imantada 5 Estilo 6 Piedra imán

Una brújula magnética es una aguja imantada, libre de girar, que se alinea con el campo magnético de la Tierra y así señala el norte con cualquier tiempo. Descrita en China en el siglo XI y usada en el mar en Europa hacia 1190, permitió a los marinos mantener el rumbo sin tierra a la vista y con el cielo cubierto.

Qué es

Una brújula es un pequeño imán que puede girar libremente. En reposo, se coloca a lo largo de las líneas del campo magnético terrestre, con un extremo hacia el norte magnético y el otro hacia el sur. Un navegante que sabe dónde está el norte puede deducir de ella todas las demás direcciones, de noche, con niebla o sin tierra a la vista.

La lámina muestra una aguja náutica del siglo XVI. La aguja imantada va pegada bajo un disco de papel pintado con una rosa de los vientos, y toda la rosa gira con ella. La rosa se apoya en un estilo dentro de un mortero de madera, y el mortero cuelga de anillos de cardán para mantenerse horizontal cuando el barco balancea.

Cómo funciona

La Tierra se comporta más o menos como un enorme imán de barra. Su campo es débil, medio gauss aproximadamente en la superficie, pero una aguja ligera sobre un buen estilo necesita muy poca fuerza para girar. La aguja oscila hasta que su propio campo se alinea con la componente horizontal del campo terrestre, y se detiene.

Frotada contra una piedra imán, una aguja de acero se convierte a su vez en un imán.

Antes hay que imantar la aguja. En el hierro y el acero, unas regiones diminutas llamadas dominios actúan cada una como un imán, pero apuntan en todas direcciones y se anulan. Al frotar la aguja siempre en el mismo sentido con una piedra imán, un trozo de magnetita con magnetismo natural, muchos de ellos se alinean, y la aguja conserva ese orden. El acero duro lo retiene mejor. El hierro dulce lo pierde pronto, y hasta mediados del siglo XVIII los marinos tenían que volver a cebar sus agujas con una piedra imán de a bordo.

Un método antiguo: una aguja sobre un flotador, girando libre en agua quieta.

El norte magnético no coincide con el polo geográfico, y el ángulo entre ambos, la declinación, cambia de un lugar a otro y lentamente con los años. El campo, además, está inclinado: en el hemisferio norte tira hacia abajo del extremo norte de la aguja y en el hemisferio sur del extremo sur, con más fuerza cerca de los polos magnéticos, así que los fabricantes equilibran la aguja con un pequeño contrapeso. A bordo, los herrajes de hierro y la carga también desvían la aguja, un error llamado desvío.

En la lámina, el estilo puntiagudo y el pequeño chapitel de la aguja reducen el rozamiento. La rosa permite al timonel leer el rumbo frente a una marca fija del mortero. La tapa de vidrio protege del viento, y los anillos de cardán impiden que la rosa se incline cuando el barco balancea.

Cómo construirla

Haga la aguja. Use una aguja de coser de acero o una tira fina de acero duro de unos 5 cm. El hierro demasiado blando no se mantiene imantado.

Imántela. Frote la aguja desde el centro hacia un extremo con un polo de una piedra imán o de un imán, y aleje la piedra en un arco amplio al final de cada pasada. Repita veinte o treinta veces, siempre en el mismo sentido.

Pruébela en agua. Atraviese con la aguja un trozo corto de corcho o de caña seca y hágala flotar en un cuenco de agua quieta, lejos de cualquier hierro. Averigüe qué extremo señala el norte y márquelo. Al norte de los trópicos, compruébelo de noche con la estrella polar o con la sombra más corta del mediodía solar, que entonces apunta al norte; al sur de los trópicos esa sombra apunta al sur.

Póngale un estilo. Presione un pequeño cono en un recorte de latón fino para hacer un chapitel y fíjelo en el centro de la aguja. Clave en vertical una punta de aguja afilada en el fondo de un mortero de madera y apoye el chapitel sobre ella. Equilibre la aguja con un poco de cera hasta que quede horizontal.

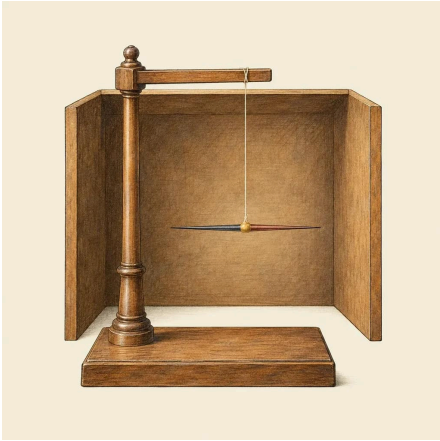
Añada la rosa y la tapa. Pegue la aguja bajo un disco ligero marcado con los rumbos, con la marca del norte sobre el extremo norte de la aguja. Pinte dentro del mortero una marca fija, la línea de fe, alineada con la proa: el rumbo se lee en la rosa frente a ella. Un cristal sobre el mortero la protege de las corrientes de aire.

Cuélguela. Para un modelo de aguja náutica, monte el mortero en dos anillos que giren sobre ejes perpendiculares. Una brújula casera es una demostración: no navegue con ella sin compararla antes con una brújula fiable.

Historia y evolución

Tanto en China como en Grecia se sabía hace más de dos mil años que la piedra imán atrae el hierro. Textos de la dinastía Han mencionan un objeto que señalaba el sur y se usaba en adivinación, quizá una cuchara de piedra imán, aunque los historiadores discrepan sobre qué era.

El manual militar *Wujing Zongyao*, compilado hacia 1044, describe un delgado pez de hierro calentado al rojo, enfriado en dirección norte-sur y luego puesto a flotar en agua, donde señalaba el sur. Hacia 1088, Shen Kuo describió agujas imantadas por frotamiento con piedra imán, puestas a flotar en agua o colgadas de un hilo de seda. También observó que la aguja apunta un poco al este del sur exacto, uno de los primeros registros de la declinación. Entre 1111 y 1117, Zhu Yu escribió que los pilotos de los barcos miraban la aguja cuando las nubes ocultaban el sol y las estrellas.



Shen Kuo consideraba que la mejor montura era una aguja colgada de un solo hilo de seda.

En Europa, el erudito inglés Alexander Neckam describió hacia 1190 a marinos que usaban una aguja imantada. Un texto persa de 1232 ofrece la primera mención en el mundo islámico. En 1269 Petrus Peregrinus describió una brújula seca sobre estilo, y hacia 1300 la brújula seca de caja con rosa se extendió por el Mediterráneo.

Las brújulas de líquido, que amortiguan las oscilaciones de la rosa, se impusieron en el siglo XIX y a principios del XX, y en la primera década del siglo XX llegó el girocompás, que encuentra el norte verdadero sin magnetismo.

Cifras clave

Pez de hierro flotando en el agua
Wujing Zongyao, h. 1044

Brújula de aguja y declinación descritas
Shen Kuo, h. 1088

Primer uso documentado en el mar
China, entre 1111 y 1117

Primera mención europea
Alexander Neckam, h. 1190

Intensidad del campo terrestre
Unos 0,5 gauss (50 microteslas)

Fuentes

1. History of the compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_compass
2. Compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Compass
3. Shen Kuo: first Renaissance man · AAAS https://www.aaas.org/shen-kuo-first-renaissance-man
4. Lodestone, c. 1700–1720 (NAV0710) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-42922
5. Dry card compass, 1838 (ACO0005) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-7085

Datos verificados el 2026-10-11

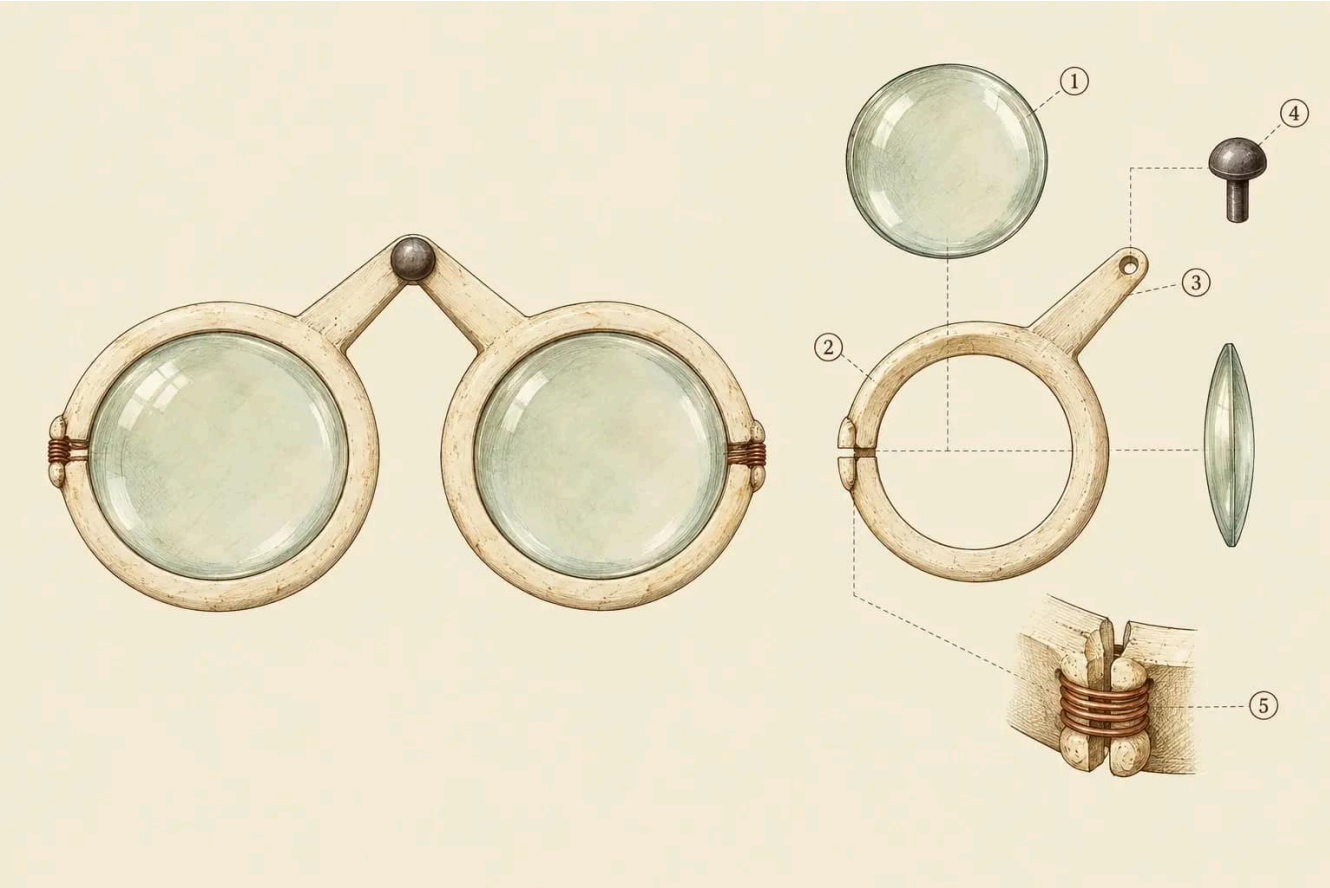
Gafas

Lentes que alargan una vida de trabajo

h. 1286 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Vidrio (p. 132)

Conduce a: Microscopio (p. 213), Telescopio (p. 217)



1 Lente de vidrio biconvexa 2 Aro de hueso 3 Mango 4 Remache de hierro 5 Atadura de alambre de cobre

Las gafas son dos lentes sujetas por una montura delante de los ojos para corregir la presbicia, la hipermetropía, la miopía o el astigmatismo. Aparecieron en Italia en la década de 1280 como ayuda para leer en la vejez; las lentes para miopes llegaron en el siglo XV y las patillas en el XVIII.

Qué es

Las gafas, o anteojos, ponen una lente delante de cada ojo para que la luz llegue a la retina ya desviada en la medida justa. Las primeras ayudaban a las personas de cuarenta años o más a leer y a hacer trabajos finos, cuando enfocar a la distancia de lectura se había vuelto difícil.

El par de la lámina es el tipo más antiguo, las gafas de remache de los siglos XIV y XV. Cada lente va en un aro tallado en hueso, madera o cuerno. De cada aro sale un mango corto, y los dos mangos están unidos por un solo remache. No hay patillas: el remache descansa sobre el puente de la nariz y los aros la pinzan por ambos lados, así que quien las llevaba tenía que mantener la cabeza quieta o sujetarlas con una mano.

Cómo funciona

Dentro del ojo, una lente blanda, el cristalino, cambia de forma para enfocar lo cercano o lo lejano. Con la edad se endurece y el punto más próximo que el ojo ve nítido se aleja: a pocos centímetros de la cara en un niño, acaba fuera del alcance de los brazos en la mayoría de las personas de sesenta años. Es la presbicia, o vista cansada, y por eso las primeras gafas fueron de lectura.

La piedra de lectura, una cúpula de cristal o vidrio apoyada sobre la página, fue la lupa anterior a las gafas.

Una lente convexa, más gruesa en el centro que en el borde, hace converger un poco la luz antes de que entre en el ojo y realiza así parte del trabajo que el cristalino ya no hace. Los ópticos miden esa potencia en dioptrías, la inversa de la distancia focal en metros. Una lente de lectura de +2 dioptrías concentra la luz paralela en un punto situado 50 cm detrás de ella.

La miopía es otro defecto de enfoque, que puede sumarse a la presbicia. El globo ocular es algo más largo de la cuenta, o su óptica demasiado potente, y lo lejano se ve borroso. Una lente cóncava, más fina en el centro, abre ligeramente la luz antes del ojo y devuelve la imagen a la retina. En Florencia ya se tallaban lentes así en el siglo XV. En el astigmatismo, la potencia del ojo es distinta en dos direcciones perpendiculares, de modo que las líneas de una orientación se ven más borrosas que las de otra. Corregirlo exige una lente más curvada en un sentido que en otro, y esas lentes llegaron mucho más tarde.

Cómo construirlas

Unas gafas de remache como las de la lámina requieren dos lentes, un trozo de hueso o de madera dura, alambre de cobre y un remache pequeño.

El vidrio en bruto, pegado con pez a un mango de madera, se desgastaba con abrasivo húmedo en una herramienta de bronce y se pulía después sobre cuero.

Conseguir las lentes. Para un par a través del cual se vaya a mirar de verdad, saque dos lentes de unas gafas de lectura baratas. Tallarlas uno mismo es una demostración histórica: como un antiguo anteojero, se frota un disco de vidrio de unos 4 cm con abrasivo húmedo dentro de una herramienta ahuecada con la curva deseada, pasando a granos cada vez más finos, y luego se pule con rojo de pulir sobre cuero o fieltro. Para una lente de +2 dioptrías de vidrio corriente, cada cara necesita un radio de curvatura de unos 50 cm, una curva muy suave. Una lente tallada a mano no tendrá una potencia exacta, y su centro óptico no quedará alineado con las pupilas.

Cortar los aros. Trazar con compás dos círculos algo mayores que las lentes sobre una placa de hueso o de boj y recortarlos con una sierra fina, dejando en cada uno una lengüeta para el mango. Tallar por dentro de cada aro una ranura en V que recoja el borde de la lente.

Abrir y atar. Serrar cada aro por el lado opuesto al mango. Abrir un poco el anillo, meter la lente en la ranura y cerrar el corte dando varias vueltas de alambre fino de cobre alrededor de dos pequeños salientes dejados a cada lado.

Remachar los mangos. Taladrar un agujero pequeño en el extremo de cada mango, superponerlos y poner un remache de cobre o de hierro, batido solo lo justo para que las dos mitades aún puedan plegarse. Limar pequeñas

muescas en el borde interior, donde los aros tocan la nariz, para que sujeten mejor.

> **Seguridad.** Trabaje el vidrio en húmedo y lleve mascarilla: el polvo de vidrio y de abrasivo daña los pulmones. Use gafas de protección al taladrar hueso y cortar alambre, y maneje con cuidado el vidrio tallado. No mire nunca al Sol a través de una lente ni deje una al sol cerca de papel o madera, porque puede provocar un incendio. Este par es una réplica: no lo use en lugar de unas gafas graduadas y ajustadas por un óptico-optometrista, y no conduzca nunca con él.

Historia y evolución

Mucho antes de las gafas ya se agrandaba la escritura con cristales y vidrios pulidos. El paso de montar una lente en un armazón delante de cada ojo se dio en Italia hacia 1280-1290. No se sabe dónde exactamente: suelen proponerse Pisa y Florencia, y una ordenanza veneciana de 1300 ya castigaba a los vidrieros que vendían como cristal de roca «discos para los ojos» de vidrio. En un sermón predicado en Florencia en 1306, el dominico Giordano da Pisa dijo que el arte de hacer anteojos aún no tenía veinte años y que había hablado con el hombre que los hizo por primera vez. Su nombre no se conoce.

La pintura de gafas más antigua que se conoce es un fresco de 1352 de Tommaso da Modena en la sala capitular de San Nicolò, en Treviso, donde un cardenal dominico lee con unas gafas de remache. Las monturas reales rara vez se conservan. En Trig Lane, junto al Támesis en Londres, apareció un par de hueso del siglo XV, de una época en que la ciudad importaba miles de gafas al año de los Países Bajos. En 1466 el duque de Milán encargó doscientos pares graduados por edades, señal de que la potencia de las lentes ya estaba bastante estandarizada.

A comienzos del siglo XVI las gafas ya corregían tanto la miopía como la presbicia, y puentes de cuero o de barba de ballena sustituían al remache. Hacia 1730 se atribuye al óptico londinense Edward Scarlett la incorporación de patillas rígidas que se apoyaban en los lados de la cabeza. En cartas de 1784 y 1785, Benjamin Franklin describió sus «gafas dobles», con media lente para lejos y media para leer. En el siglo XIX llegaron los quevedos, sujetos a la nariz por un resorte, y en el XX las monturas de plástico, las lentes orgánicas, más ligeras, y después las de alto índice, más finas.

Gafas dobles de finales del siglo XVIII: arriba la lente para ver de lejos, abajo la de lectura.

Cifras clave

Primer documento veneciano
Ordenanza del 2 de abril de 1300 sobre «discos para los ojos» de vidrio

Primeras gafas pintadas
1352, fresco de Tommaso da Modena en Treviso

Patillas
Atribuidas al óptico londinense Edward Scarlett, hacia 1730

Testimonio sobre la fecha
Sermón de Giordano da Pisa, Florencia, 1306: el arte «aún no tiene veinte años»

Lente de lectura habitual
+2 dioptrías, es decir, 50 cm de distancia focal

Fuentes

1. History of spectacles · College of Optometrists, British Optical Association Museum https://www.college-optometrists.org/history-of-spectacles
2. Spectacles (bone rivet spectacles from Trig Lane) · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/v/object-407684/spectacles/
3. Medieval Eyeglasses: Wearable Technology of the Thirteenth Century · Medievalists.net https://www.medievalists.net/2016/03/medieval-eyeglasses-wearable-technology-of-the-thirteenth-century/
4. The Earliest Depiction of Eyeglasses in a Painted Work of Art · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=1447
5. A Venetian ordinance on the production of lenses (2 April 1300) · HistoryofInformation.com https://historyofinformation.com/detail.php?id=2217
6. Renaissance Vision from Spectacles to Telescopes (Vincent Ilardi, 2007), book description · American Philosophical Society, via Goodreads https://www.goodreads.com/book/show/1685277.Renaissance_Vision_from_Spectacles_to_Telescopes
7. Benjamin Franklin invents bifocal glasses · HISTORY.com https://www.history.com/this-day-in-history/may-23/benjamin-franklin-invents-bifocal-glasses
8. University Physics Volume 3, 2.5 The Eye · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-5-the-eye
9. Presbyopia · EyeWiki, American Academy of Ophthalmology https://eyewiki.org/Presbyopia
10. A Review of Depth of Focus in Measurement of the Amplitude of Accommodation (Burns, Allen, Edgar and Evans, Vision 2, 2018) · MDPI, via PubMed Central https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6835437/
11. Optics of the Human Eye (Atchison and Smith, 2nd edition, 2023) · CRC Press https://www.routledge.com/Optics-of-the-Human-Eye/Atchison/p/book/9781003128601
12. Schematic eyes: Gullstrand, Gullstrand-Emsley and reduced eyes (lecture notes) · Al-Mustaqbal University https://www.uomus.edu.iq/img/lectures21/MUCLecture_2024_11210775.pdf

Datos verificados el 2026-10-12

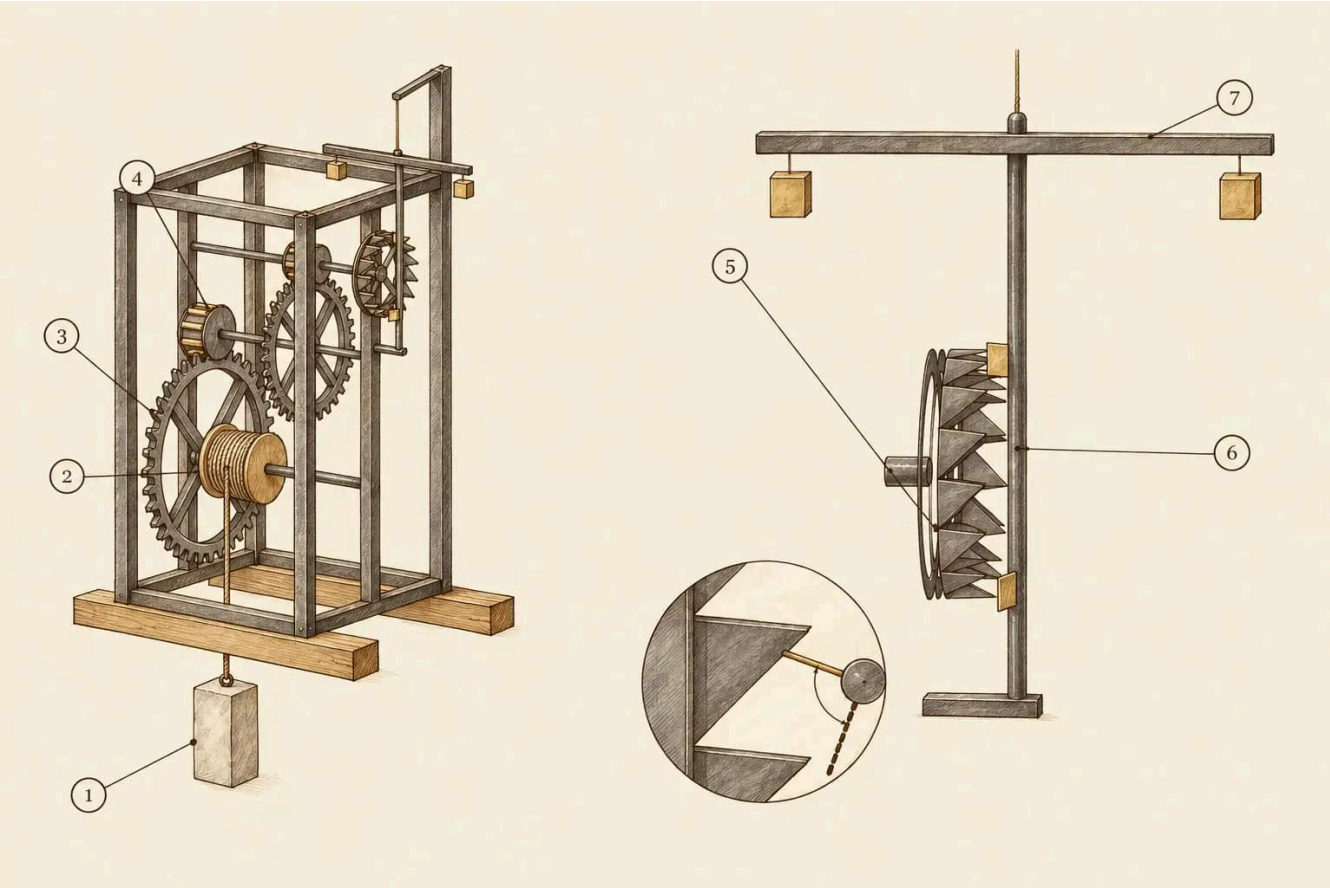
Reloj mecánico

El tiempo cortado en latidos iguales

h. 1300 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Engranajes (p. 153), Reducción del hierro (p. 136)

Conduce a: Navegación astronómica (p. 209)



1 Peso motor 2 Tambor y cuerda 3 Rueda grande 4 Piñón de linterna 5 Rueda catalina 6 Vara y paletas 7 Foliot con sus pesos

En un reloj mecánico, un peso que baja hace girar un tren de engranajes, y un escape solo deja avanzar ese tren a pequeños pasos regulares. Los primeros se construyeron en Europa a finales del siglo XIII: grandes máquinas de hierro en las torres de las iglesias que daban las horas en una campana.

Qué es

Un reloj mecánico divide el tiempo en latidos iguales y los cuenta con engranajes. Los primeros, construidos desde finales del siglo XIII, eran grandes armazones de hierro forjado en la torre de una iglesia o de una ciudad. Los movía un gran peso de piedra y los regulaba un escape de vara y foliot: una barra oscilante que solo dejaba girar las ruedas a pasos pequeños y regulares. Muchos no tenían esfera: daban las horas en una campana y la gente sabía la hora de oído.

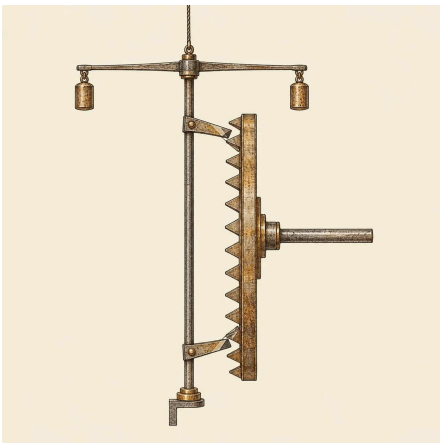
En la catedral de Salisbury, un reloj de este tipo sigue funcionando en la nave. Se suele identificar con un reloj mencionado allí en 1386, y por eso a menudo se le llama el reloj en funcionamiento más antiguo del mundo; esa

fecha se apoya en indicios indirectos, y se proponen otros relojes para el título. Sus ruedas van en un armazón de hierro de cuatro postes unido con espigas acuñadas en lugar de pernos. Un peso mueve el tren de marcha, que lleva la hora; otro mueve el tren de sonería, que hace sonar la campana.

Cómo funciona

El peso cuelga de una cuerda enrollada en un tambor de madera. Al bajar despacio, hace girar el tambor y la rueda grande fijada en el mismo eje. La rueda grande mueve un piñón pequeño en el eje siguiente, que lleva otra rueda, y así hasta la rueda de escape. En cada paso de rueda a piñón, el eje siguiente gira más deprisa.

Por sí solo, el peso haría girar todo el tren y caería en segundos. El escape lo impide. La rueda de escape es una rueda catalina, en forma de corona, con dientes de sierra que sobresalen de una de sus caras. Delante cuelga la vara, un eje vertical con dos pequeñas aletas, las paletas: una se encuentra con los dientes en la parte alta de la rueda y la otra en la parte baja, colocadas más o menos en ángulo recto. Un diente aparta la paleta de arriba y hace girar la vara; eso pone la paleta de abajo frente a un diente del otro lado de la rueda, que la empuja en sentido contrario. Así la vara oscila de un lado a otro, y la rueda avanza medio diente en cada movimiento en un sentido y un diente entero en cada ida y vuelta.



El escape de vara visto de perfil, donde los dientes de todo el borde de la rueda catalina se alinean en una sola columna: la rueda empuja por turnos las dos paletas, y el foliot con sus pesos va y viene sobre la vara.

El foliot es una barra horizontal fijada de través en lo alto de la vara, con un pequeño peso colgado cerca de cada extremo. Su inercia frena cada golpe. Si se separan los pesos, el golpe se hace más lento y el reloj atrasa; si se acercan, adelanta. El foliot no tiene un periodo propio, así que la marcha cambia también con la fuerza del peso motor, el rozamiento y el estado del aceite, y un error habitual rondaba el cuarto de hora al día. El encargado ponía el reloj en hora con un reloj de sol y subía los pesos a diario.

Cómo construirlo

Con herramientas manuales, contrachapado y espigas de madera dura se puede hacer una maqueta de escape de vara y foliot. Hace tictac y muestra cómo el escape retiene un peso que baja; sin esfera, no da la hora. Lo que sigue resume las etapas: para la forma de los dientes y la distancia entre ejes, siga un plano acotado publicado para una maqueta de escape en madera.

Hacer el armazón. Dos montantes de unos 40 cm unidos con travesaños y taladrados para tres ejes horizontales, uno encima de otro, a las distancias del plano. Use espigas como ejes y forre los agujeros con trozos cortos de tubo de latón para que giren con soltura. Atornille el armazón a una base pesada o a una ménsula de pared para que no pueda volcar.

Hacer el tren. En el eje inferior van un tambor para el cordel y la rueda grande; en el central, un piñón de linterna de espigas y una segunda rueda; en el superior, otro piñón de linterna y la rueda catalina. Cada rueda debe engranar con su piñón sin atascarse ni saltar, así que corte los dientes con el perfil del plano y límelos.

Hacer el escape. La rueda catalina necesita un número impar de dientes, 15 es lo habitual, que sobresalgan de una cara: córtelos en el borde de un aro corto de contrachapado fino o de madera dura y pegue el aro sobre la cara de un disco. Monte la vara, una espiga recta, en vertical delante de la rueda, con dos paletas finas a unos 90 grados una de otra, a la altura de la parte alta y de la parte baja de la rueda. Con un número impar de dientes, una paleta

Un piñón de linterna: varillas redondas entre dos discos, fáciles de hacer a mano, engranan con los dientes de la rueda grande.

se encuentra con una punta mientras la otra queda frente a un hueco. Fije de través en lo alto de la vara el foliot, una barra ligera de unos 30 cm con dos pesos deslizantes.

Ajustar sin el peso. Haga girar el tren a mano, con un dedo en el tambor, y compruebe que las paletas trabajan por turnos: escapa un diente de arriba y luego un diente de abajo topa con la otra paleta, sin saltarse dientes ni atascarse. Doble o lime las paletas solo con el peso quitado. Después enrolle en el tambor un cordel cuya carga admitida supere con holgura el peso, ate su extremo al tambor, cuelgue el peso que indique el plano, a menudo de 1 a 2 kg para un modelo pequeño de madera. Para ajustar el golpe, quite o sostenga el peso, deslice un poco los pesos del foliot, déjelo colgar de nuevo y cuente los golpes durante un minuto; repita hasta que el golpe sea regular.

> **Seguridad.** Si una paleta se suelta, el tren se dispara y el peso cae: quite o sujete siempre el peso antes de tocar el escape, y haga que baje dentro de una guía cerrada, un tubo o una caja, que termine en el suelo. Mantenga manos, pies y animales fuera de su recorrido. Sujete la pieza con un tornillo de banco y mantenga las manos detrás de la hoja al cortar los dientes; use gafas de protección al taladrar.

Historia y evolución

Relojes de agua y de sol medían el tiempo desde hacía milenios cuando apareció el reloj mecánico. El paso decisivo, un mecanismo que deja bajar un peso a tirones regulares, se dio en algún lugar de Europa a finales del siglo XIII, y en la primera mitad del XIV hay constancia de grandes relojes públicos en ciudades italianas. Por entonces aparecen relojes en los registros de catedrales y abadías, pero la misma palabra latina, horologium, servía también para los relojes de agua, de modo que no se puede nombrar el primer reloj mecánico. A finales del siglo XIV funcionaban grandes relojes de hierro en muchas catedrales; la maquinaria del de Wells, de 1392, está hoy en el Science Museum de Londres, mientras que su esfera sigue en la catedral.

El tren de sonería tira del alambre, el martillo golpea la campana y la hora se oye en toda la ciudad.

El gran cambio llegó en 1656-1657, cuando Christiaan Huygens, siguiendo una idea de Galileo, reguló un reloj con un péndulo. Un péndulo oscila casi en el mismo tiempo sea cual sea la fuerza motriz. El primer reloj de péndulo de Huygens se desviaba menos de un minuto al día, y los siguientes menos de diez segundos. Muchos relojes de torre se transformaron; los de Salisbury y Wells perdieron su foliot en favor de un péndulo, y al de Salisbury se le puso una vara y un foliot reconstruidos en su restauración de 1956. Hacia 1675 el muelle espiral dio a los relojes de bolsillo un regulador con periodo propio; su error bajó a unos diez minutos al día, lejos de un reloj de péndulo pero mucho mejor que antes.

Cifras clave

Primeros relojes mecánicos
Europa, finales del siglo XIII

Reloj más antiguo en funcionamiento (según se afirma)
Catedral de Salisbury, hacia 1386; sin esfera, da las horas

Error de un reloj de foliot
Del orden de un cuarto de hora al día, según la factura y el cuidado

Reloj de péndulo (Huygens)
1656; menos de un minuto al día al principio, luego menos de 10 segundos

Fuentes

1. What to see: the world's oldest clock · Salisbury Cathedral https://www.salisburycathedral.org.uk/discover/what-to-see/
2. Wells Cathedral clock, 1392 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co1347/wells-cathedral-clock-1392
3. A walk through time: the revolution in timekeeping · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/popular-links/walk-through-time/walk-through-time-revolution
4. Clocks in the Scientific Revolution · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/article/2315/clocks-in-the-scientific-revolution/
5. Oldest clock · Guinness World Records https://guinnessworldrecords.com/world-records/oldest-clock
6. Model of verge escapement with foliot regulator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/ModelVergeEscapementWithFoliotRegulator.html
7. Salisbury Cathedral clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Salisbury_Cathedral_clock
8. Dynamics of the verge and foliot clock escapement (P. Hoyng and A. C. T. Nieuwenhuizen) · arXiv https://arxiv.org/abs/1604.06681
9. Turret clock, Cotehele (c. 1490) · National Trust Collections https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/347888
10. Cotehele clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cotehele_clock
11. Before Big Ben (Jonathan Betts) · Building Conservation https://buildingconservation.com/articles/bigben/bigben.html

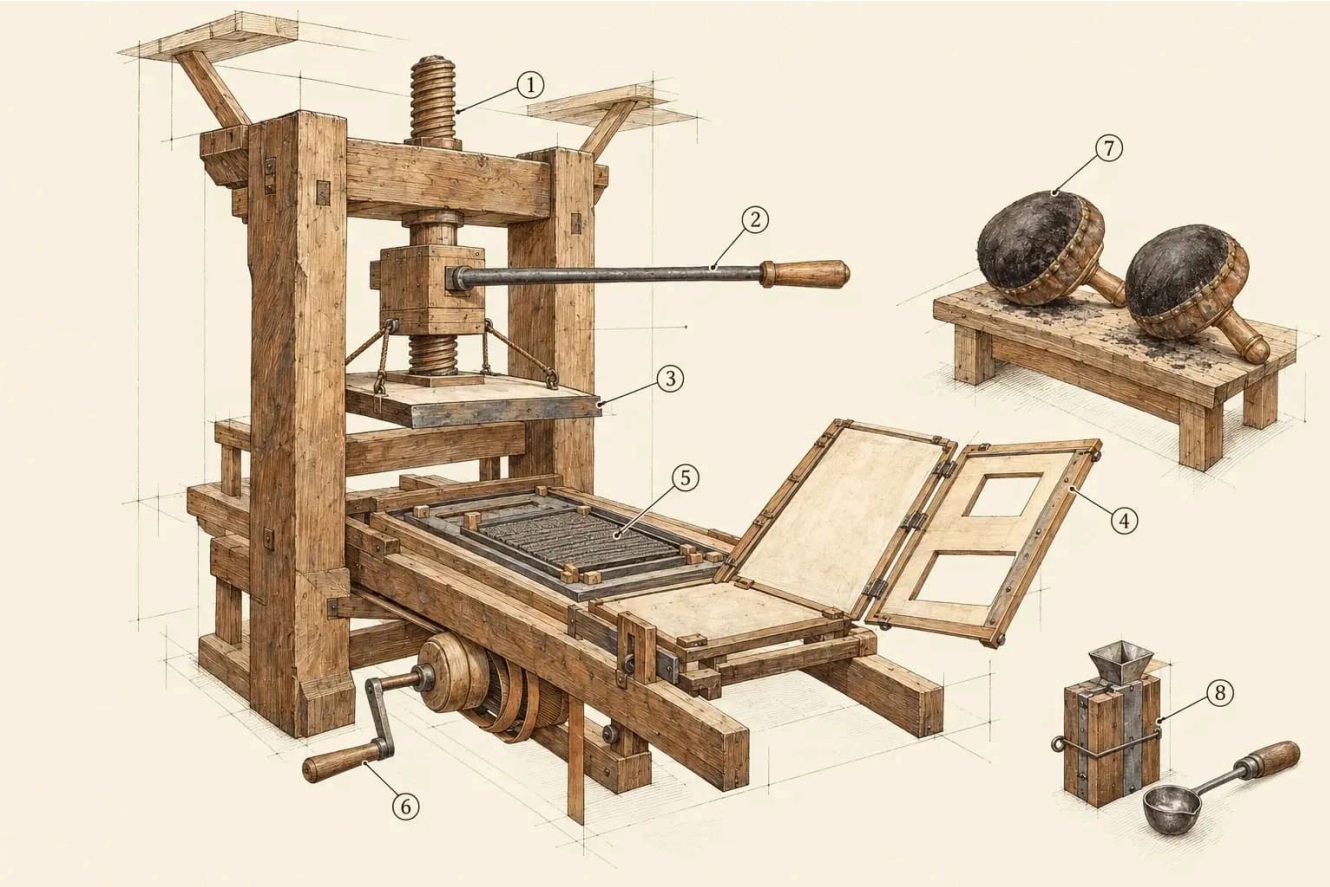
Datos verificados el 2026-10-12

Imprenta

Tipos móviles, copiados por miles

h. 1440 · Edad Media · Oficios y ciudades

Requiere: Papel (p. 169), Reducción del hierro (p. 136), Escritura (p. 85), Acero (p. 140)



1 Husillo 2 Barra 3 Platina 4 Tímpano y frasqueta 5 Forma sobre la cama del carro 6 Manivela 7 Balas de entintar 8 Molde de mano para fundir tipos

La imprenta aplica tipos de metal entintados sobre papel húmedo por medio de un husillo de madera, de modo que una página de texto puede copiarse cientos de veces en un día. Gutenberg la combinó hacia 1440 con tipos móviles fundidos y una tinta a base de aceite, y en cincuenta años el arte de imprimir se había extendido por toda Europa.

Qué es

Una imprenta deposita tinta sobre el papel por presión. Letras de metal fundido se alinean para formar una página, se entintan, se cubren con una hoja húmeda y se aprietan bajo una placa plana. Al levantarla, la hoja lleva una imagen invertida de los tipos, que se lee al derecho.

La máquina en sí era una idea antigua. Las prensas de husillo exprimían uvas y aceitunas desde época romana, y los papeleros las usaban para prensar las hojas mojadas. Lo nuevo fue combinar la prensa con tipos de metal reutilizables, que podían fundirse deprisa y con medidas exactas, con una tinta que se adhería al metal y con papel barato.

Cómo funciona

El trabajo empieza por los tipos. Un grabador lima en el extremo de una barra de acero la forma de una letra, al revés. Ese punzón se golpea contra un pequeño bloque de cobre y deja en él una letra hundida: la matriz. La matriz se coloca en el fondo de un molde de mano, el fundidor vierte el metal fundido y, un momento después, abre el molde y deja caer un tipo, una pequeña barra con la letra en relieve en uno de sus extremos.

El molde de Gutenberg podía ajustarse para una «i» estrecha o una «M» ancha sin cambiar la altura del tipo. Eso permite que miles de tipos sueltos se mantengan juntos e impriman de manera uniforme. El metal, una aleación de plomo, estaño y antimonio, se funde a baja temperatura, reproduce los detalles finos y se desgasta despacio.

Las dos mitades del molde se deslizan para ajustarse al ancho de cada letra, mientras la altura de todos los tipos se mantiene igual.

Las balas se rellenaban de lana o crin y se tamponaban sobre los tipos.

El cajista toma los tipos de la caja, los coloca línea a línea en un componedor y forma las páginas. Después se aprietan con cuñas dentro de un marco de hierro, la rama. El resultado es la forma, que descansa sobre una cama plana de piedra en el carro de la prensa.

Un prensista tampona los tipos con dos balas cargadas de una tinta hecha con hollín y aceite de linaza. Su compañero coloca una hoja húmeda sobre el tímpano, un marco con bisagras forrado de pergamino, y baja encima la frasqueta para que los márgenes queden limpios. Tímpano y frasqueta se abaten sobre la forma. Al girar la manivela, el carro entra bajo la platina. Un tirón de la barra hace girar el husillo una fracción de vuelta, la platina baja y la hoja queda impresa.

Cómo construirla

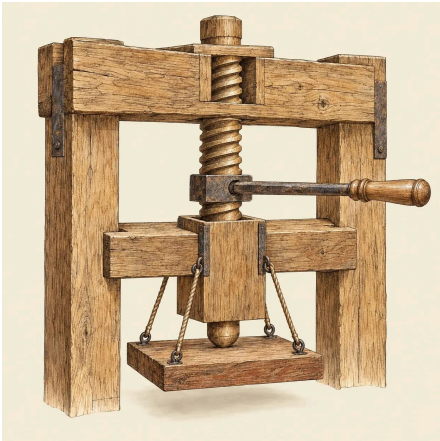
Una prensa que funcione necesita un carpintero, un herrero y alguien que sepa tallar letras.

Construir el bastidor. Une dos pesados montantes de roble con un sombrero arriba y un travesaño más abajo, y apuntala el conjunto contra el suelo y el techo. Si el bastidor cede, la impresión sale borrosa.

Hacer el husillo y la platina. Un husillo de madera dura y de grano cerrado, como el boj o el peral, tallado con una rosca gruesa, gira en una tuerca fijada en el sombrero. Bajo la tuerca, el husillo gira dentro de una caja cuadrada de madera que se desliza por una tabla guía sin poder girar. De esa caja cuelga con cuerdas la platina plana, para que baje recta sin girar.

Montar el carro. Una piedra lisa encajada en un cofre de madera se desliza sobre carriles bajo la platina. Una manivela, un eje con mango y correas de cuero, la hace entrar y salir.

Fundir los tipos. Es trabajo de fundición especializada. Talla punzones de acero, golpéalos contra el cobre y funde en un molde de dos piezas,



La caja se desliza por la tabla guía sin girar, y la platina, colgada de sus cuerdas, baja recta.

con las precauciones de abajo. Sin fundición, las letras talladas en la testa de una madera dura también imprimen, aunque más despacio y de forma menos uniforme.

Preparar la tinta. Muele negro de humo en barniz de linaza, es decir, aceite ya espesado al calor, hasta que tenga la consistencia de la miel. Compra el barniz hecho o encárgalo a alguien con experiencia, porque calentar aceite es peligroso por el fuego.

Humedecer el papel. El papel ligeramente húmedo toma mucho mejor la tinta. Apílalo una noche entre hojas mojadas.

> **Seguridad.** Funde tipos solo en un taller preparado para el plomo fundido, con crisol de temperatura controlada, extracción de humos, pantalla facial, mandil y guantes de cuero. El metal fundido salpica con violencia si toca agua o una herramienta húmeda, así que calienta antes los cazos y los moldes. El plomo es venenoso: no comas nunca mientras trabajas, guarda las escorias y el polvo en recipientes cerrados y lávate las manos al terminar. Los trapos empapados en aceite de linaza pueden arder solos al secarse: extiéndelos al aire libre o guárdalos en una lata metálica cerrada con agua. Mantente fuera del recorrido de la barra.

Historia y evolución

Los tipos móviles se fabricaron por primera vez en China. En la década de 1040, Bi Sheng imprimió con caracteres de arcilla cocida, método registrado por Shen Kuo. Más tarde, los impresores coreanos fundieron tipos en bronce, y el libro más antiguo que se conserva impreso con tipos metálicos, el *Jikji*, data de 1377. Imprimir caracteres chinos, en China y en Corea, exige miles de tipos distintos, lo que encarecía el método.

Johannes Gutenberg, un artesano de Maguncia formado en el trabajo del metal, se dedicó a la imprenta en Estrasburgo aproximadamente entre 1437 y 1444. En un pleito de 1439, varios testigos hablan de una prensa, de plomo y de formas para una empresa secreta, que suele interpretarse como los primeros ensayos de imprenta. De vuelta en Maguncia, con dinero de Johann Fust, imprimió la Biblia de 42 líneas entre 1452 y 1455 aproximadamente. Se hicieron unos 180 ejemplares, la mayoría en papel y el resto en vitela; se conservan 48 o 49.

En 1480 ya había impresores en unos 110 lugares, y en 1500 en unas 270 ciudades, que habían producido más de veinte millones de ejemplares.

Hacia 1800, la prensa Stanhope, toda de hierro, duplicó el rendimiento. En 1814, la prensa de cilindro movida a vapor de Friedrich Koenig imprimió *The Times* a 1100 hojas por hora.

Cifras clave

Primeros ensayos de imprenta de Gutenberg
Finales de la década de 1430, probablemente en Estrasburgo

Biblia de 42 líneas
Hacia 1455, unos 180 ejemplares, 48 o 49 conservados

Metal de los tipos
Plomo, estaño y antimonio

Rendimiento de una prensa de madera hacia 1600
Unas 1500 a 3600 impresiones por jornada de trabajo

Ciudades europeas con imprenta en 1500
Unas 270

Fuentes

1. Printing press · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Printing_press
2. The Gutenberg Bible · Library of Congress https://www.loc.gov/exhibits/bibles/interactives/gutenberg/index.html
3. Johannes Gutenberg (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/johannes-gutenberg/
4. Shen Kuo · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shen_Kuo
5. Joseph Moxon, Mechanick Exercises on the Whole Art of Printing (1683): the press · Transcription by R. Holme https://rholme.taths.org.uk/texpic/20/20_02a/20_02a.htm
6. Making Books: the Renaissance and Today, glossary of the Beaver Press · MIT OpenCourseWare https://ocw.mit.edu/courses/21h-343j-making-books-the-renaissance-and-today-spring-2016/pages/end-view

Datos verificados el 2026-10-11

IV

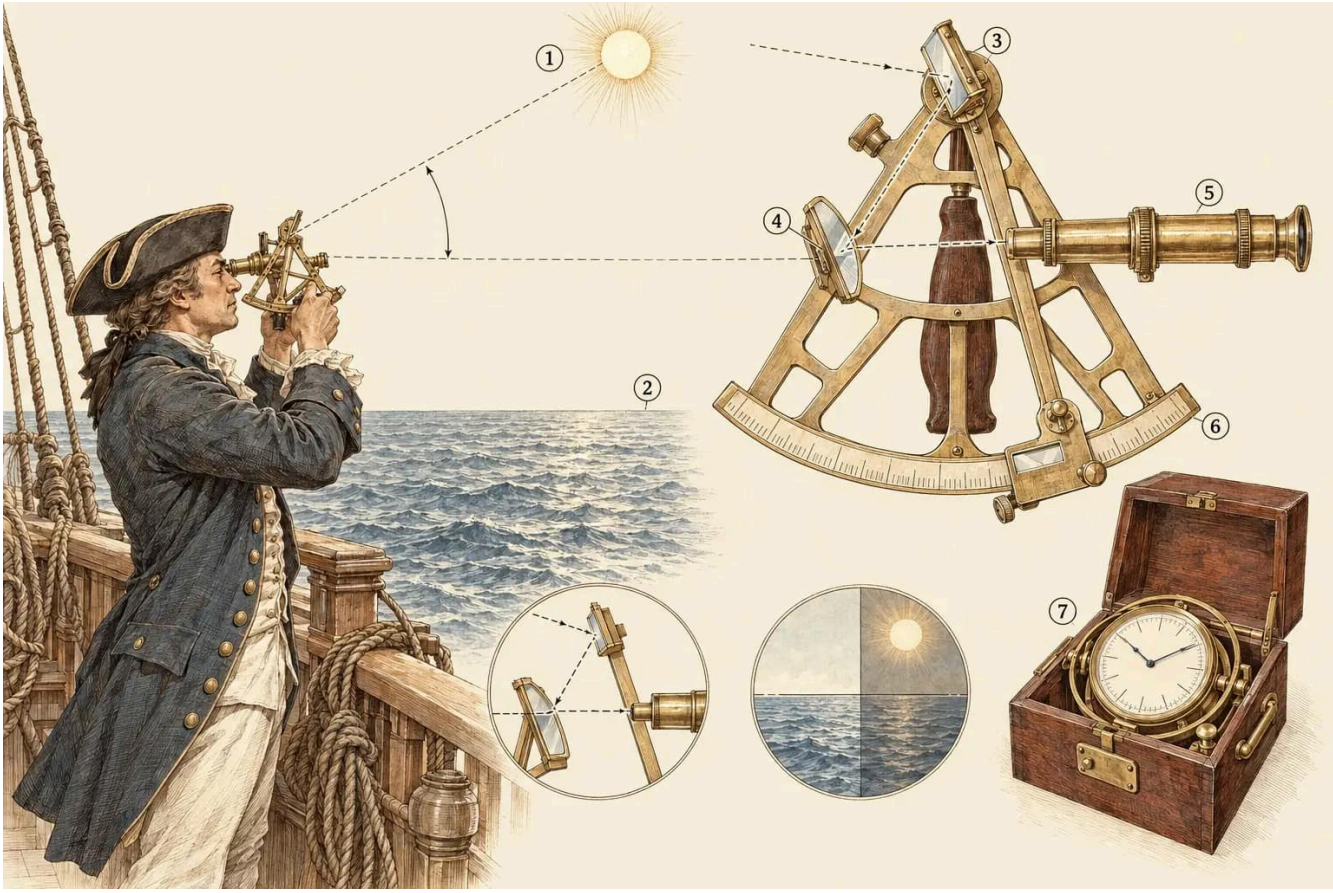
Ciencia e industria

Navegación astronómica

La posición del barco leída en el cielo

h. 1460 · Renacimiento · Ciencia e industria

Requiere: Brújula (p. 193), Vela (p. 89), Numeración posicional (p. 97), Medidas y patrones (p. 127), Reloj mecánico (p. 200)



1 Sol 2 Horizonte del mar 3 Espejo grande (índice) 4 Espejo chico, medio azogado 5 Anteojo de mira 6 Limbo graduado 7 Cronómetro marino

La navegación astronómica sitúa un barco a partir de la altura del Sol, la Luna y las estrellas sobre el horizonte. La latitud sale de la estrella Polar, que los pilotos portugueses medían con cuadrante hacia 1460, o del Sol del mediodía; la longitud requiere la hora de un meridiano de referencia, que desde la década de 1760 aportaron los cronómetros y las tablas lunares.

Qué es

Lejos de la costa, la aguja y la velocidad estimada mantienen el rumbo, pero los errores se acumulan. El cielo sirve de comprobación, porque la altura de una estrella o del Sol sobre el horizonte depende del lugar donde uno está.

La latitud, la distancia al norte o al sur del ecuador, llegó primero: los pilotos del océano Índico la sacaban de la Polar con los dedos o con el kamal, y los europeos llevaron cuadrantes y astrolabios al mar en el siglo XV. La longitud depende de la hora y siguió siendo un problema difícil hasta el XVIII. La lámina muestra un sextante y un cronómetro marino de esa época posterior.

Cómo funciona

La estrella Polar está muy cerca del punto del cielo que queda sobre el eje de la Tierra. En el polo norte está casi en el cenit; en el ecuador, casi sobre el horizonte. Entre ambos, su altura equivale más o menos a la latitud. En tiempos de Colón distaba 3,5° del polo y los pilotos corregían la lectura; hoy la diferencia es menor de un grado.

Al sur del ecuador se usa el Sol al mediodía verdadero, cuando está más alto. Su ángulo con el ecuador celeste, la declinación, oscila a lo largo del año entre unos 23,4° N y 23,4° S y puede calcularse de antemano. Con el Sol del mediodía al sur, la latitud es 90° menos su altura, más la declinación, con el sur en negativo. Con el Sol al norte, como siempre al sur de los trópicos, la latitud es la declinación menos (90° menos la altura).

En el primer cuadrante, una plomada cuelga ante una escala mientras se apunta a la estrella por un borde. El astrolabio náutico cuelga de una anilla; para el Sol, el navegante gira la alidada hasta que un rayo pasa por la pínula de arriba y cae en la de abajo. Ambos oscilan en una cubierta que se balancea, y los errores de varios grados eran frecuentes.

El astrolabio náutico se fundía pesado y calado para que el viento no lo hiciera oscilar.

El octante y el sextante miden desde el horizonte del mar. La luz del Sol da en el espejo grande del brazo móvil, se refleja en el espejo chico y entra en el anteojo. Una mitad del espejo chico es transparente, de modo que se ve el horizonte a través de ella junto al Sol reflejado. Con los vidrios de color puestos, el navegante mueve el brazo hasta que el borde inferior del Sol toca el horizonte y lee el limbo. Unas tablas corrigen luego la altura del ojo, la refracción y el semidiámetro del Sol, unos 16′. La doble reflexión duplica el ángulo, así que un arco de un sexto de círculo mide hasta 120°.

Para la longitud, la Tierra gira 15° por hora. Si el Sol pasa por el meridiano del lugar cuando un reloj con la hora de Greenwich marca las 15:00, el barco está a unos 45° al oeste de Greenwich, antes de aplicar la ecuación del tiempo: según la estación, el Sol se adelanta o se retrasa hasta 16 minutos. Lo difícil era un reloj que no se desajustara en el mar. El otro método, la distancia lunar, compara el ángulo medido entre la Luna y una estrella brillante con tablas impresas para hallar la hora de referencia.

Entre dos observaciones, la estima con la aguja, la corredera y el reloj se traza en la carta; cada situación astronómica la corrige.

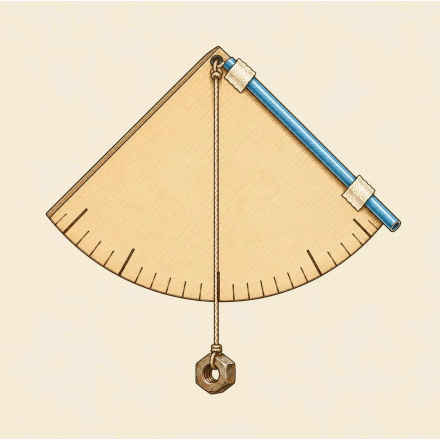
Cómo hacerlo

Un cuadrante de cartón da la latitud con uno o dos grados de error, es decir, de 100 a 200 km.

Hacer el cuadrante. Recortar en cartón rígido un cuarto de círculo de unos 15 cm de radio. Con un transportador, graduar el arco de 0 en un borde recto a 90 en el otro. Pegar una pajita a lo largo del borde marcado 90. Colgar de la esquina un hilo con una tuerca. El hilo indica entonces el ángulo de la pajita sobre la horizontal.

Medir la Polar. En una noche despejada del hemisferio norte, prolongar unas cinco veces la línea que une las dos estrellas del extremo del cazo de la Osa Mayor para dar con la Polar. Apuntarla por la pajita, dejar que el hilo se quede quieto y leer. La media de cinco lecturas da una latitud aproximada.

O medir el Sol del mediodía por la sombra. No apuntar nunca al Sol. Clavar un palo recto en suelo llano y comprobar con la plomada que está vertical. Hacia el mediodía, marcar la punta de la sombra cada cinco minutos: la sombra más corta señala el mediodía verdadero, que rara vez cae a las 12:00 del reloj. La altura del Sol es el



Se apunta por la pajita y se lee dónde cruza el hilo la escala.

ángulo cuya tangente es la altura del palo dividida por esa sombra; también se puede dibujar el triángulo a escala y medir el ángulo con el transportador.

Corregir según la fecha. Buscar la declinación del Sol del día en unas efemérides, positiva al norte. Al norte de los trópicos, latitud = 90° − altura + declinación. El 11 de abril la declinación es de unos +8°. Si un palo de 100 cm da una sombra mínima de 77 cm, la altura es de unos 52,4° y la latitud, 90 − 52,4 + 8 = 45,6° N, cerca de los 45,8° de Lyon. Después, comparar con un mapa.

> **Seguridad.** No mirar nunca al Sol, ni a simple vista ni a través de una pajita, un tubo, unos prismáticos o un visor, ni siquiera un instante; las gafas de sol no protegen y la lesión es permanente. De noche, salir acompañado, llevar una linterna y mantenerse lejos de acantilados, muelles y de la orilla del agua.

Historia y evolución

Los navegantes del Pacífico viajaban sin instrumentos, guiándose por los puntos donde salen y se ponen las estrellas y estimando la latitud por la altura de la Cruz del Sur. En 1976, Mau Piailug guió así la canoa Hōkūleʻa de Hawái a Tahití.

Con el kamal de los pilotos del océano Índico, un nudo sujeto entre los dientes fijaba la distancia a una tablilla cuyos bordes iban del horizonte a la estrella. Ahmad ibn Mayid, de Omán, dejó escrito este saber en 1490.

El kamal: cada nudo correspondía a la altura de la Polar en un puerto conocido.

Diogo Gomes cuenta que tomó la Polar con un cuadrante en un viaje a Guinea hacia 1460, aunque sus fechas son inciertas. Tras cruzar el ecuador, en la década de 1470, los portugueses pasaron al Sol del mediodía, al astrolabio y a las tablas de declinación de Abraham Zacuto, impresas en Leiria en 1496. Siguieron la ballestilla y, hacia 1594, el cuadrante de Davis. John Hadley presentó su octante a la Royal Society en 1731. El reloj H4 de John Harrison se probó en el mar en 1761; el Nautical Almanac de Nevil Maskelyne, publicado en 1766 para el año 1767, traía tablas lunares. Las señales horarias regulares por radio empezaron en 1904, y el GPS quedó plenamente operativo en 1995.

Cifras clave

Un grado de latitud
Unos 111 km (60 millas náuticas)

Giro de la Tierra
15° de longitud por hora, 1° cada 4 minutos

Declinación del Sol
Entre unos 23,4° N y 23,4° S a lo largo del año

Polar medida con cuadrante en el mar
Diogo Gomes, hacia 1460

Octante de Hadley
Presentado a la Royal Society el 13 de mayo de 1731

Fuentes

1. What is a mariner's astrolabe? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/space-astronomy/what-mariners-astrolabe
2. Quadrant · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/quadrant/
3. Mariner's astrolabe · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/?p=211
4. Back staff · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/back-staff/
5. Martin Behaim: his life and his globe (E. G. Ravenstein, 1908), pp. 15–17 · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0029/ocr
6. Martin Behaim: his life and his globe, Zacuto's Almanach · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0031/ocr
7. The navigator Ahmad ibn Majid · AramcoWorld https://archive.aramcoworld.com/issue/200504/the.navigator.ahmad.ibn.majid.htm
8. The Star Compass · Polynesian Voyaging Society https://worldwidevoyage.hokulea.com/education-at-sea/polynesian-navigation/the-star-compass/
9. Wayfinding revival · Science Learning Hub, University of Waikato https://www.sciencelearn.org.nz/resources/631-wayfinding-revival
10. John Hadley · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/DNB/Hadley.html
11. Octant / sextant · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/OctantSextantBis.html
12. Who was John Harrison? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/discover/explore/longitude-found-john-harrison
13. John Harrison · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/john-harrison
14. Nevil Maskelyne and the lunar method · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/topics/longitude-found-nevil-maskelyne-lunar-method
15. The Evolution of Time Measurement, Part 5: Radio Controlled Clocks (M. A. Lombardi, 2012) · NIST https://tf.nist.gov/general/pdf/2536.pdf
16. The System: Celebrating 20 Years of GPS · GPS World https://www.gpsworld.com/the-system-celebrating-20-years-of-gps/
17. Longitude and Local Noon · ESO, Sea and Space https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/seaspace/navigation/navastro/navastro-5.html
18. Declination of the Sun · Plymouth State University https://vortex.plymouth.edu/dept/tutorials/sun/sun4a.html
19. The American Practical Navigator (Pub. 9), chapter 14: Instruments for celestial navigation · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/05-%20Part%203-%20Celestial%20Navigation/Chapter%2014-%20Instruments%20For%20Celestial%20Navigation.pdf
20. The American Practical Navigator (Pub. 9), appendix B: Calculations and conversions (dip of the horizon) · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/13-%20Appendices/Appendix%20B-%20Calculations%20and%20Conversions.pdf
21. Mate sextant, Kelvin & Hughes, 1967 (NAV1204) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-43416
22. The calculation of astronomical refraction in marine navigation (G. G. Bennett, 1982) · Journal of Navigation https://doi.org/10.1017/S0373463300022037
23. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF

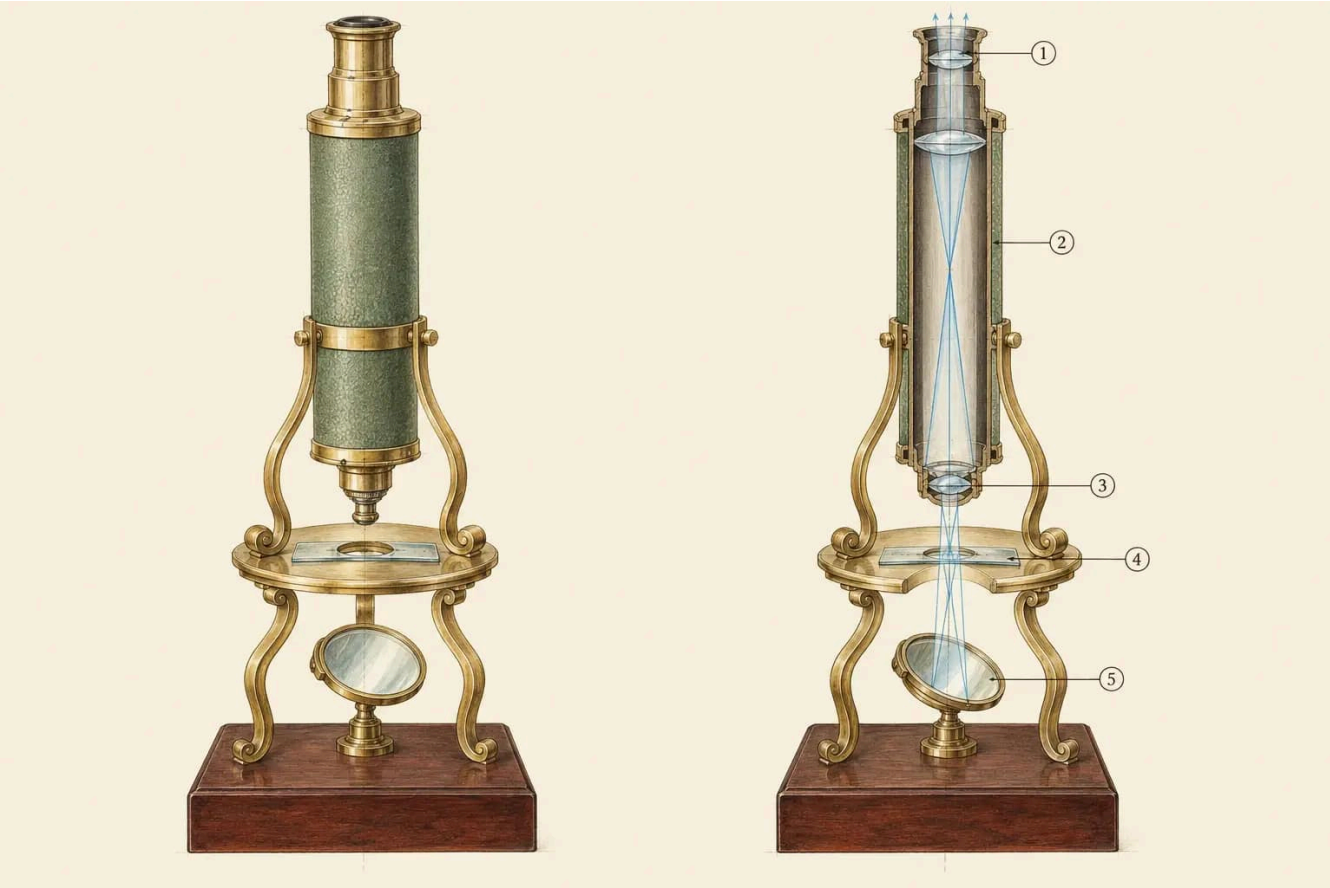
Datos verificados el 2026-10-14

Microscopio

Un mundo demasiado pequeño para el ojo

h. 1590 · Renacimiento · Ciencia e industria

Requiere: Gafas (p. 196)
Conduce a: Higiene y antisepsia (p. 298)



1 Ocular 2 Tubo 3 Objetivo 4 Platina y portaobjetos 5 Espejo cóncavo

Un microscopio usa una o varias lentes para mostrar lo que es demasiado pequeño para el ojo. Los instrumentos compuestos, con dos lentes en un tubo, aparecieron en los Países Bajos hacia 1600, y en la década de 1670 las diminutas lentes simples de Antoni van Leeuwenhoek mostraron por primera vez bacterias y seres unicelulares.

Qué es

Un microscopio muestra detalles demasiado pequeños para el ojo desnudo, desde una décima de milímetro hasta unas pocas milésimas. El más sencillo, el microscopio simple, es solo una lente muy potente sostenida junto al ojo. El microscopio compuesto usa dos lentes o grupos de lentes dentro de un tubo: la primera forma una imagen ampliada y la segunda vuelve a ampliar esa imagen.

El instrumento de la lámina es un microscopio compuesto del tipo que el fabricante londinense Edward Culpeper creó hacia 1725-1730. Tres patas curvas de latón sobre una base de madera sostienen la platina; otras tres

sostienen el manguito por el que el tubo sube y baja para enfocar. Bajo la platina, un espejo cóncavo recoge la luz del día o de una vela y la envía hacia arriba a través de la muestra.

Cómo funciona

La muestra, a menudo un corte fino o una gota de líquido sobre un portaobjetos de vidrio, descansa sobre un agujero de la platina. El espejo la ilumina desde abajo. Justo encima del portaobjetos, el objetivo, pequeño y muy curvado, forma dentro del tubo una imagen real, ampliada e invertida. El ocular, arriba, actúa como una lupa sobre esa imagen. En la lámina, una lente de campo situada bajo la lente del ojo amplía la zona que se ve de una vez.

Los dos aumentos se multiplican. Un objetivo de diez aumentos y un ocular de diez aumentos dan cien en total. Subiendo o bajando el tubo se enfoca la muestra; con mucho aumento, la profundidad nítida es de apenas unas milésimas de milímetro.

Aumentar más no siempre permite ver más. Las primeras lentes desviaban cada color de forma algo distinta y rodeaban la imagen de franjas de color. Joseph Jackson Lister resolvió gran parte del problema hacia 1830 con objetivos que combinaban dos tipos de vidrio. Más tarde, en el mismo siglo, Ernst Abbe, que trabajaba con la casa Zeiss en Jena, demostró que la naturaleza ondulatoria de la luz impone un límite: un microscopio óptico convencional no separa dos puntos mucho más próximos que unos 0,2 µm, aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la luz visible; la cifra exacta depende del color de la luz y de la apertura del objetivo. Para lo más pequeño hacen falta microscopios electrónicos o métodos especiales de fluorescencia.

El instrumento de Leeuwenhoek visto de lado: el tornillo largo sube y baja la punta portamuestras; el corto la acerca o la aleja de la lente.

Cómo construirlo

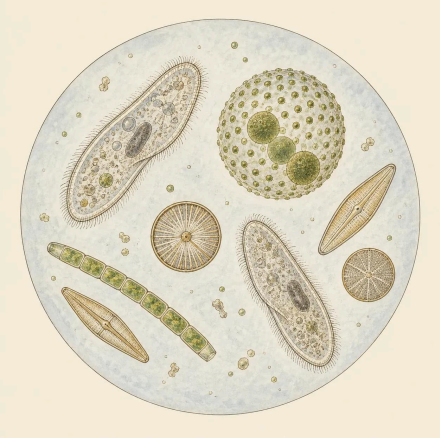
Un microscopio de una sola lente al estilo de Leeuwenhoek está al alcance de un aficionado cuidadoso y puede dar cien aumentos o más.

Hacer la lente. Lo más fácil es una bola de vidrio o de zafiro de 2 a 3 mm, de las que se venden para óptica o para acopladores de fibra. Una bola de vidrio común de 2 mm tiene una distancia focal de unos 1,5 mm, medida desde su centro, y da unos 150 aumentos. La muestra debe quedar a solo medio milímetro de la superficie del vidrio. Leeuwenhoek también hacía lentes fundiendo vidrio; calentar la punta de una varilla fina de vidrio hasta que se forme una perla redonda funciona, pero exige una llama de gas y conviene dejarlo a quienes saben trabajar el vidrio al soplete.

Montarla. Taladrar en dos tiras finas de latón o aluminio de unos 5 × 2,5 cm un agujero de más o menos la mitad del diámetro de la bola, que hace de diafragma y tapa el borde borroso de la lente. Avellanar cada agujero por el lado interior para que la bola encaje, colocar la lente entre las tiras y remacharlas o atornillarlas cerca de los bordes. Quitar todas las rebabas y redondear las esquinas.

Añadir el portamuestras. Fijar detrás de la placa un pequeño bloque montado en un tornillo largo que atraviesa una escuadra, de modo que al girarlo el bloque suba o baje. Sujetar al bloque una punta, o un cubreobjetos de bordes pulidos, que sostenga la muestra justo detrás de la lente, y un segundo tornillo que atraviese el bloque y

empuje la placa, para ajustar la distancia. Use roscas finas: la muestra debe acercarse a menos de medio milímetro de la lente y moverse por centésimas de milímetro.



Una gota de agua de charca vista a unos cien aumentos: paramecios, una colonia de Volvox, diatomeas y un alga verde.

Usarlo. Acercar la lente al ojo sin tocarlo, con la muestra al otro lado, y mirar hacia una luz intensa y difusa, como una pared blanca o un cielo nublado. Una gota de agua de charca sobre un cubreobjetos muestra protozoos y algas en movimiento.

> **Seguridad.** No apunte nunca un microscopio ni su espejo hacia el Sol: la luz solar concentrada puede dañar el ojo de forma permanente en un instante. El vidrio caliente parece frío: deje enfriar perlas y varillas sobre una superficie resistente al calor y mantenga las llamas lejos de todo lo inflamable. Use gafas de protección al taladrar metal. El agua de charca no está limpia: lávese las manos después de manipularla.

Historia y evolución

Unos fabricantes de anteojos de los Países Bajos fueron los primeros en poner dos lentes en un tubo, entre 1590 y 1620 aproximadamente. Relatos posteriores atribuyeron el invento a Zacharias Janssen, de Middelburg, pero se basan sobre todo en declaraciones de su hijo hechas décadas más tarde; Cornelis Drebbel y otros construyeron instrumentos parecidos. En 1624 Galileo envió uno de sus «occhialini» a Federico Cesi, y al año siguiente Johannes Faber, miembro de la Accademia dei Lincei fundada por Cesi, propuso llamarlo microscopio.

La Micrographia de Robert Hooke, publicada por la Royal Society en 1665, hizo famoso el microscopio compuesto. Sus treinta y ocho grabados mostraban una pulga, un piojo y una fina lámina de corcho, cuyos compartimentos vacíos Hooke llamó células. En Delft, el comerciante de paños Antoni van Leeuwenhoek vio detalles más finos con una sola lente. Construyó varios cientos de pequeños microscopios, algunos de más de 250 aumentos, y desde 1673 envió cartas a la Royal Society en las que describía glóbulos de la sangre, espermatozoides y multitudes de «animálculos». En una carta de 1676 sobre agua en la que había macerado pimienta describió organismos que hoy sabemos que eran bacterias, las primeras que nadie había visto, y en 1683 halló otros parecidos en el sarro de sus dientes.

El microscopio de Hooke, de la década de 1660: un globo lleno de agua concentra la luz de una lámpara de aceite sobre la muestra.

El microscopio compuesto solo superó a la lente simple en el siglo XIX, cuando los objetivos acromáticos de Lister y la teoría de Abbe lo convirtieron en un instrumento de laboratorio preciso. Los microscopios electrónicos, construidos desde la década de 1930, ven muy por debajo del límite de la luz, y desde los años noventa algunos métodos de fluorescencia permiten a los microscopios ópticos superarlo.

Cifras clave

Primeros microscopios compuestos
Países Bajos, hacia 1590-1620; el inventor es discutido

El nombre
Propuesto en 1625 por Johannes Faber, de la Accademia dei Lincei

Mejores lentes de Leeuwenhoek
De unos 70 a más de 250 aumentos, con una resolución cercana a 1 µm

Micrographia de Hooke
1665, 38 láminas grabadas; primer uso de «célula» en biología

Límite del microscopio óptico convencional
Unos 0,2 µm, la mitad de la longitud de onda de la luz visible

Fuentes

1. Museum of Microscopy: The Leeuwenhoek Microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/leeuwenhoek.html
2. Culpeper microscope with boxfoot made by George Adams in 1738 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co119233
3. Johannes Faber (biography) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/biography/JohannesFaber.html
4. Galileo and the microscope: timeline (estoria04) · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/microscopio/dswmedia/storia/pdf/estoria04.pdf
5. Fleas, mould and plant cells: under a 17th-century microscope · British Library https://www.bl.uk/stories/blogs/posts/fleas-mould-and-plant-cells-under-a-17th-century-microscope
6. History of the achromatic and aplanatic microscope · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
7. De microscoop van Antoni van Leeuwenhoek · Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Microbiologie https://www.knvm.org/outreach/mijlpalen-in-de-microbiologie/de-microscoop-van-antoni-van-leeuwenhoek
8. Robert Hooke (Museum of Microscopy) · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/hooke.html
9. Hooke's Microscope · Lens on Leeuwenhoek https://lensonleeuwenhoek.net/node/7761
10. Museum of Microscopy: Culpeper microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/culpeper.html
11. Culpeper tripod microscope · The Golub Collection, University of California, Berkeley https://golubcollection.berkeley.edu/thumb181
12. Descriptive Catalogue of the Collection of Microscopes in charge of the Utrecht University Museum (P. H. van Cittert, 1934) · Utrecht University Library https://objects.library.uu.nl/download/1874-307223/fulltext
13. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
14. Resolution · Nikon MicroscopyU https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/resolution

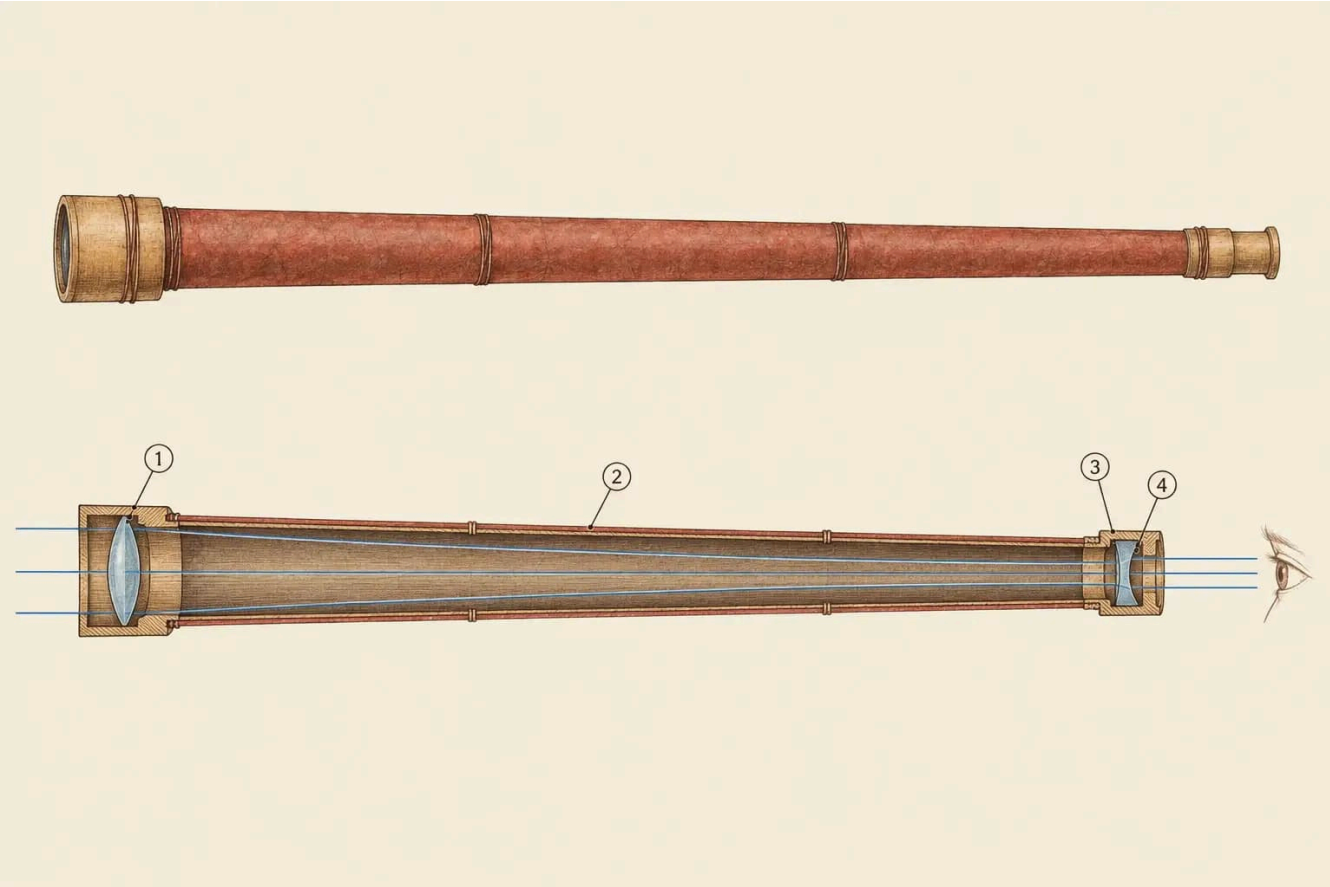
Datos verificados el 2026-10-12

Telescopio

Acercar lo lejano

1608 · Renacimiento · Ciencia e industria

Requiere: Gafas (p. 196)



1 Objetivo convergente 2 Tubo principal 3 Montura del ocular 4 Ocular divergente

Un telescopio recoge la luz de un objeto lejano con una lente o un espejo y agranda la imagen que forma. Unos fabricantes de anteojos de los Países Bajos hicieron los primeros en 1608, y los instrumentos mejorados de Galileo mostraron montañas en la Luna a finales de 1609 y cuatro lunas girando alrededor de Júpiter en enero de 1610.

Qué es

Un telescopio hace que lo lejano parezca cercano. Su elemento principal, el objetivo, recoge mucha más luz que la pupila y forma una imagen del objeto lejano. En un refractor el objetivo es una lente en la parte delantera del tubo; en un reflector, un espejo curvo al fondo; un ocular más pequeño agranda luego esa imagen para el ojo.

El instrumento de la lámina es uno de los dos telescopios de Galileo Galilei que se conservan, en el Museo Galileo de Florencia. Su tubo principal está hecho de dos medios tubos de madera sujetos con alambre de cobre y forrados de papel. Una montura corta en la parte delantera sostiene el objetivo, una lente convexa de 51 mm de diámetro y 1330 mm de focal; otra en la parte trasera sostiene el ocular, una pequeña lente cóncava. El

instrumento da 14 aumentos y solo muestra un campo de un cuarto de grado, más o menos la mitad del diámetro de la Luna llena.

Cómo funciona

La luz de una estrella o de un campanario lejano llega como un haz casi paralelo. El objetivo convexo desvía ese haz para que converja hacia un punto, el foco, situado 1330 mm detrás de la lente en el telescopio de Galileo. Por sí solo, el objetivo formaría allí una imagen pequeña e invertida.

En el diseño galileano, el ocular cóncavo intercepta la luz convergente antes de que llegue al foco. Abre los rayos lo justo para que vuelvan a ser paralelos, pero ahora viajan con ángulos mayores que al llegar, así que el ojo ve el objeto más grande y derecho. El aumento es la focal del objetivo dividida por la del ocular, sin contar el signo menos de esta: 1330 mm entre 94 mm dan unos 14.

El reflector de Newton sustituyó la lente del objetivo por un espejo metálico curvo al fondo de un tubo corto; un pequeño espejo plano desvía la luz hacia un lado.

En 1611 Johannes Kepler propuso un ocular convexo. El telescopio kepleriano da una imagen invertida, cosa que no molesta a un astrónomo, y un campo mucho más amplio, y se convirtió en el refractor astronómico habitual. Además, una lente desvía cada color de forma algo distinta y rodea los objetos brillantes de franjas de color. Isaac Newton evitó el problema recogiendo la luz con un espejo cóncavo, que refleja igual todos los colores.

Cómo construirlo

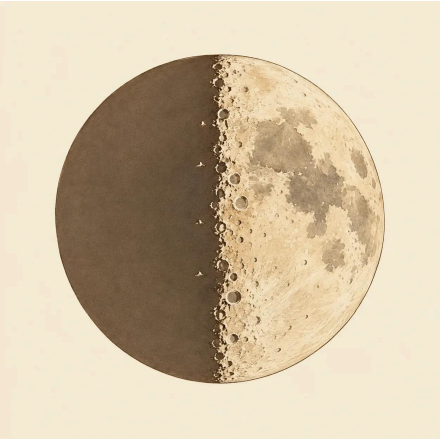
Un telescopio galileano como el de Galileo necesita dos lentes y un tubo de alrededor de un metro.

Elegir las lentes. Para el objetivo, una lente convergente de aproximadamente +1 dioptría (1000 mm de focal) y de 40 a 50 mm de diámetro; una lente simple sirve, y un doblete acromático de un proveedor de óptica da una imagen más nítida. Para el ocular, una lente divergente de aproximadamente −10 dioptrías (−100 mm de focal) y de 20 a 25 mm de diámetro. Esta pareja da 1000 ÷ 100 = 10 aumentos.

Hacer el tubo. Las lentes deben quedar a unos 900 mm una de otra: la focal del objetivo menos la del ocular, contada sin su signo menos. Use dos tubos de cartón o de plástico que deslicen uno dentro del otro, para poder ajustar la longitud unos centímetros. Pinte o forre el interior de negro mate para evitar reflejos.

Montar las lentes. Sujete el objetivo en el extremo delantero entre dos anillos de cartón o madera, bien perpendicular al tubo. Coloque el ocular en una tapa corta en el extremo trasero, con la cara hueca hacia el ojo.

Enfocar y observar. Apoye el tubo en algo firme, como un trípode de cámara o una valla, y deslice los tubos hasta que una chimenea lejana se vea nítida. De noche muestra los cráteres de la Luna y, en una noche tranquila, las cuatro lunas mayores de Júpiter.



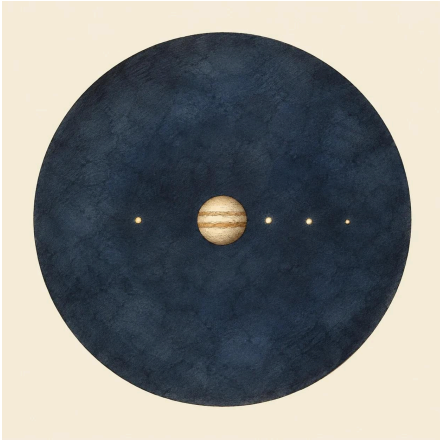
En cuarto creciente, unas cumbres iluminadas más allá de la línea de sombra mostraron a Galileo que la Luna tenía montañas.

> **Seguridad.** No apunte nunca un telescopio ni ninguna lente hacia el Sol, ni un instante ni al atardecer, y no lo deje nunca donde un niño pueda hacerlo: la luz solar concentrada puede dañar el ojo de inmediato y para siempre, y puede incendiar el tubo. Para mirar el Sol a través de un telescopio hace falta un filtro fabricado para ese uso, que cubra toda la abertura delantera, bien sujeto, revisado cada vez en busca de rayas o agujeros y usado según las instrucciones del fabricante. Las gafas de eclipse y los filtros que se enroscan en el ocular no protegen detrás de un telescopio.

Historia y evolución

El 2 de octubre de 1608, Hans Lipperhey, fabricante de anteojos de Middelburg, pidió a los Estados Generales, en La Haya, una patente para un instrumento con el que ver las cosas lejanas como si estuvieran cerca. Jacob Metius, de Alkmaar, presentó una solicitud parecida unas semanas después, otros reclamaron también la idea y la patente fue denegada. No se conserva ningún telescopio de aquellos primeros fabricantes; el de Lipperhey daba probablemente unos tres aumentos.

La noticia del «anteojo holandés» corrió deprisa. En Inglaterra, Thomas Harriot usaba un instrumento de seis aumentos ya en el verano de 1609, y en Padua Galileo, que tallaba sus propias lentes, construyó un anteojo de tres aumentos en el verano de 1609 y presentó uno de ocho al Senado de Venecia en agosto. En otoño llegaba a unos veinte; las fuentes discrepan sobre si estudió primero la Luna con ese instrumento o con uno más débil. Su segundo telescopio conservado da 21 aumentos. En marzo de 1610 su breve libro Sidereus Nuncius describió montañas en la Luna, incontables estrellas en la Vía Láctea y cuatro lunas en órbita alrededor de Júpiter. El nombre de telescopio lo propuso en 1611 el príncipe Federico Cesi, fundador de la Accademia dei Lincei.



Júpiter y sus cuatro grandes lunas quedan casi sobre una línea; en enero de 1610 Galileo las vio cambiar de sitio de una noche a otra.

Los astrónomos construyeron después refractores cada vez más largos para reducir el desenfoque de colores. Chester Moore Hall hizo hacia 1733 objetivos acromáticos de dos clases de vidrio, que solo se generalizaron cuando John Dollond empezó a fabricarlos a finales de la década de 1750. El reflector de Newton, diseñado en 1668 y presentado en una segunda versión a la Royal Society en el paso de 1671 a 1672, sirvió de modelo a los telescopios de espejo que William Herschel construía él mismo; con uno de ellos descubrió el planeta Urano en 1781.

Cifras clave

Primer documento escrito
Solicitud de patente de Hans Lipperhey, La Haya, 2 de octubre de 1608

El instrumento de Lipperhey
Probablemente unos 3 aumentos

El telescopio de Galileo en Florencia
Objetivo de 51 mm, focal de 1330 mm, 14 aumentos

Sidereus Nuncius
Publicado en Venecia en marzo de 1610

Telescopio de Newton
Diseñado en 1668; segunda versión presentada a la Royal Society en 1671-1672

Fuentes

1. Galileo's telescope (inv. 2427) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/object/GalileosTelescope.html
2. Instruments: Galileo's telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/pencil/eng/html/Tools/01%20Cannocchiale.htm
3. Scientist of the Day: Hans Lipperhey · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/hans-lipperhey/
4. Galileo's telescope: reflecting telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/storia/estoria6_st.html
5. History of the achromatic and aplanatic microscope (Hall and Dollond) · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
6. Telescope · The Galileo Project, Rice University https://galileo.library.rice.edu/sci/instruments/telescope.html
7. 7-foot Newtonian (reflector) telescope · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-11122
8. Galileo's telescope (inv. 2427): measurements of the lenses · Museo Galileo (IMSS) https://imss.fi.it/news/cielimedicei/01/estrumento2.html
9. Galileo's knowledge of optics and the functioning of the telescope, revised (Y. Zik and G. Hon) · arXiv https://arxiv.org/abs/1307.4963
10. Learning from Galileo's errors (E. Bernieri) · arXiv https://arxiv.org/abs/1206.4244
11. Telescopes of Galileo (V. Greco, G. Molesini and F. Quercioli), Applied Optics 32, 6219–6226 · Optica Publishing Group https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-32-31-6219
12. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
13. University Physics Volume 3, 4.5 Circular Apertures and Resolution · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/4-5-circular-apertures-and-resolution
14. Astronomy 2e, 6.1 Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/astronomy-2e/pages/6-1-telescopes

Datos verificados el 2026-10-12

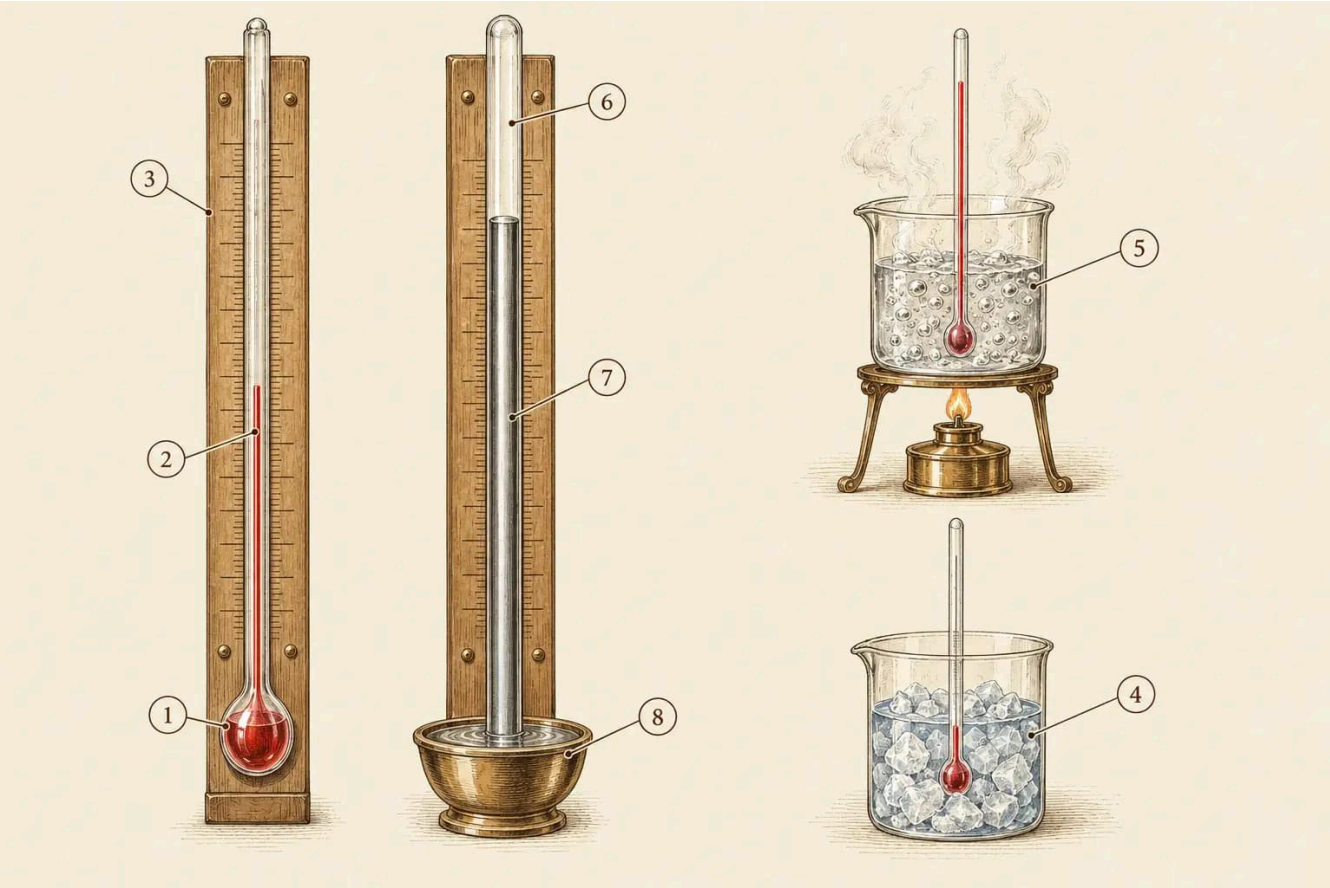
Termómetro y barómetro

Temperatura y presión leídas en el vidrio

h. 1654 · Renacimiento · Ciencia e industria

Requiere: Vidrio (p. 132), Medidas y patrones (p. 127), Numeración posicional (p. 97)

Conduce a: Refrigeración (p. 281)



1 Depósito del líquido 2 Tallo de vidrio fino 3 Escala 4 Hielo fundente, punto fijo inferior (0 °C)
5 Agua hirviendo, punto fijo superior (100 °C a 1013,25 hPa) 6 Espacio vacío en el extremo cerrado del tubo
7 Columna de mercurio, unos 760 mm 8 Cubeta abierta

Un termómetro muestra la temperatura como la longitud de un hilo de líquido dentro de un fino tubo de vidrio, leída en una escala fijada por el hielo que se funde y el agua que hierve. Su compañero, el barómetro, pesa el aire por la altura de la columna de líquido que la atmósfera puede sostener: unos 760 mm de mercurio al nivel del mar.

Qué es

Un termómetro convierte la temperatura en una longitud que se puede leer. Un depósito de vidrio lleno de líquido continúa en un tubo de canal muy estrecho. Cuando el líquido se calienta, se dilata y su hilo sube junto a una escala.

El barómetro salió de los mismos talleres italianos y pesa el aire que tenemos encima por la altura de una columna de líquido. Con termómetros construidos iguales, observadores de ciudades distintas pudieron comparar sus

lecturas, como hizo la primera red meteorológica a partir de 1654.

Cómo funciona

Los líquidos crecen un poco al calentarse: el etanol, alrededor del 0,11 % de su volumen por grado; el mercurio, alrededor del 0,018 %; el vidrio, mucho menos. El canal hace visible ese aumento, porque todo el volumen sobrante del depósito tiene que entrar en él. Un depósito con una quinta parte de centímetro cúbico de alcohol gana unos 0,2 mm^3 por grado; en un canal de 0,2 mm de diámetro, eso supone un paso de unos 7 mm.

Una escala necesita puntos que cualquiera pueda reproducir. El hielo puro siempre se funde a la misma temperatura, y el agua pura siempre hierve a la misma temperatura mientras la presión del aire sea igual. La escala Celsius los llama 0 y 100 y pone cien pasos iguales entre ellos. En la montaña el agua hierve a menos temperatura, más o menos un grado menos por cada 300 m de altitud. Calibrar un instrumento es compararlo con esos puntos o con una referencia fiable y anotar la diferencia; sin eso, dos termómetros pueden discrepar en varios grados. En la cocina también importa: la agencia británica de seguridad alimentaria pide 70 °C mantenidos dos minutos en el centro de los alimentos cocinados.

El agua sola se contrae al calentarse entre 0 y 4 °C y se congela a 0 °C. Los primeros termómetros sellados llevaban alcohol y, desde el siglo XVIII, los instrumentos de precisión sobre todo mercurio, que sigue líquido en un intervalo amplio y no moja el vidrio.

El barómetro de Torricelli era un tubo de vidrio de un metro, cerrado por un extremo, lleno de mercurio e invertido en una cubeta de mercurio. La columna bajaba hasta que quedaban unos 760 mm por encima de la cubeta, con un espacio casi vacío arriba. Su peso equilibra el empuje del aire sobre la superficie libre. El mercurio es 13,6 veces más denso que el agua, así que un barómetro de agua necesita más de 10 m de tubo, la misma altura que limita a una bomba aspirante.

Cerca del nivel del mar, la columna baja alrededor de un milímetro por cada 11 m de subida, de modo que un barómetro también mide la altitud. Un barómetro que baja suele anunciar viento y lluvia; uno que sube, buen tiempo. Los barómetros aneroides sustituyen el líquido por una cápsula metálica sellada que se deforma.

Cómo construirlo

El termómetro de líquido es un instrumento para aprender: compárelo con una referencia para conocer su error y no lo use nunca para alimentos ni para comprobar una fiebre. El barómetro de tarro solo indica si la presión sube o baja.

El termómetro de líquido. Tome una botella de vidrio pequeña, de unos 100 ml, una pajita transparente de al menos 25 cm y plastilina. Mezcle a volúmenes iguales agua y alcohol isopropílico al 70 %, teñidos con colorante alimentario: la mezcla se dilata más que el agua y evita su extraño comportamiento cerca de la congelación. Llene la botella hasta el borde, hunda bien la pajita en el líquido y selle el cuello con plastilina, sin burbujas de aire. A temperatura ambiente, el líquido debe quedar unos 8 cm por encima de la plastilina; añada o quite un poco por la pajita con un cuentagotas. Cuanto mayor sea la botella y más fina la pajita, mayor será el paso por grado. Pegue una tira de papel detrás de la pajita.

El punto fijo inferior: la botella queda en el hielo fundente hasta que el hilo deja de moverse.

Fijar los puntos. Ponga la botella en un cuenco de hielo picado con un poco de agua, lo bastante hondo para cubrirla hasta el cuello. Remueva, espere a que el hilo se detenga, lo que puede tardar un cuarto de hora, y marque 0; el líquido debe seguir viéndose por encima de la plastilina. Deje que vuelva a la temperatura ambiente y después póngala junto a un termómetro de cocina digital en un cuenco con agua templada del grifo a unos 40 °C, remueva, espere a que las dos lecturas se estabilicen y marque el valor de la referencia; el hilo no debe llegar arriba. Si falla alguna de las dos pruebas, cambie la cantidad de líquido o la botella y repita los dos puntos. Divida el intervalo en pasos iguales y compare con la referencia a temperatura ambiente para conocer su error. No apriete nunca la botella.

Un barómetro de tarro: la membrana se hunde cuando sube la presión y la punta de la pajita se levanta.

El barómetro de tarro. Corte el cuello de un globo, tiéndalo bien sobre un tarro de vidrio de boca ancha y átelo con cordel para que no pase el aire. Pegue un extremo de una pajita larga en el centro de la membrana y deje que el otro sobresalga del borde, delante de una tarjeta. Cuando sube la presión exterior, la membrana se hunde y la punta se levanta. El aire encerrado también se dilata con el calor: un grado mueve la aguja más o menos lo mismo que 3,5 hPa de presión. Deje el tarro lejos del sol, en una habitación cuya temperatura cambie poco, y compare sus movimientos con la tendencia de presión del servicio meteorológico.

La lectura. Mantenga el ojo a la altura del extremo del hilo.

> **Seguridad.** No fabrique nunca un instrumento con mercurio: su vapor es tóxico. Si se rompe un termómetro de mercurio antiguo, saque a las personas y los animales y no los deje volver, abra las ventanas al exterior y cierre las puertas hacia el resto de la casa. No use aspiradora ni escoba. Sobre un suelo duro, con guantes, junte las bolitas con un cartón rígido, páselas a un papel de cocina húmedo, recoja las más finas con cinta adhesiva y cierre todo en una bolsa etiquetada. Sobre una alfombra o un tapizado, recorte o aparte la parte manchada y consulte al servicio local de salud o de medio ambiente. Terminada la limpieza, ventile la habitación al menos 24 horas y lleve los residuos a un punto de recogida de residuos peligrosos según indiquen las autoridades locales. El alcohol isopropílico es inflamable y tóxico: manténgalo lejos de las llamas y de los niños. Use agua caliente del grifo, nunca hirviendo, y no pase nunca un vidrio directamente del hielo al agua caliente.

Historia y evolución

Filón de Bizancio y Herón de Alejandría sabían que el aire calentado se hincha y empuja el agua por un tubo. Benedetto Castelli recordaba haber visto a Galileo mostrar un termoscopio así hacia 1600, y en 1612 el médico Santorio, en Venecia, le había añadido una escala para seguir las fiebres. Al estar abierto, también reaccionaba a la presión del aire.

Torricelli describió el barómetro de mercurio en una carta de junio de 1644. En 1648 Florin Périer, cuñado de Pascal, subió uno al Puy de Dôme, donde la columna quedó unos 8,5 cm más baja que en Clermont. En Florencia, los artesanos del gran duque Fernando II encerraron alcohol en vidrio sellado y, en 1654, el gran duque envió termómetros iguales a la primera red meteorológica.

El termoscopio de Galileo: cuando el aire del matraz se enfría, el agua sube por el cuello.

Daniel Gabriel Fahrenheit hizo termómetros de mercurio en Ámsterdam desde la década de 1710 y publicó su método en 1724. Anders Celsius propuso su escala en 1742, con 0 en la ebullición y 100 en la congelación; se invirtió poco después de su muerte, en 1744. En 1848 William Thomson, más tarde lord Kelvin, propuso una escala absoluta, cuyo cero se fija hoy en −273,15 °C.

En 1868 Carl Wunderlich, con datos de unos 25 000 enfermos, situó la media normal en unos 37 °C y el comienzo de la fiebre hacia los 38 °C. Robert FitzRoy inició los avisos británicos de temporal en 1861 y publicó la primera previsión pública en The Times en agosto de ese año. Los sensores digitales y los termómetros de otros líquidos han sustituido en gran parte a los de mercurio, hoy restringidos en muchos países.

Cifras clave

Puntos fijos (Celsius)
0 °C para el hielo fundente, 100 °C para el agua que hierve a 1013,25 hPa

Dilatación por grado
Etanol, alrededor del 0,11 % de su volumen; mercurio, alrededor del 0,018 %

Temperatura corporal (Wunderlich, 1868)
Unos 37 °C de media; 38 °C «probablemente febril»; datos de unos 25 000 enfermos

Presión del aire al nivel del mar
Unos 760 mm de mercurio, o unos 10,3 m de agua

Primera red meteorológica
1654, creada por Fernando II de Toscana con termómetros de alcohol sellados

Fuentes

1. Letter by Castelli on the invention of the thermoscope · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/LetterByCastelliOnInventionThermoscope.html
2. Medici meteorological network · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/MediciMeteorologicalNetworkBis.html
3. Fifty-degree thermometer · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/FiftydegreeThermometer.html
4. Thermometers of the Accademia del Cimento · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/section/ThermometersAccademiaCimentoArtScienceGlassware.html
5. Torricellian experiment · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/TorricellianExperiment.html
6. This Month in Physics History: Torricelli demonstrates the existence of a vacuum · APS News, American Physical Society https://www.aps.org/apsnews/2012/10/torricelli-demonstrates-existence-vacuum
7. Blaise Pascal (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/blaise-pascal/
8. On September 19, 1648, Pascal conducted an experiment that proved the existence of atmospheric pressure · Scientific Russia https://en.scientificrussia.ru/articles/under-atmospheric-pressure
9. Fahrenheit, Daniel Gabriel (ADB and NDB entries) · Deutsche Biographie, Bavarian Academy of Sciences https://www.deutsche-biographie.de/sfz14129.html
10. Daniel Gabriel Fahrenheit · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/biography/DanielGabrielFahrenheit.html
11. The Legacy of Anders Celsius · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-legacy-of-anders-celsius/
12. Kelvin: History · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/si-redefinition/kelvin/kelvin-history
13. Wunderlich, Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten (1868) · HistoryofMedicine.com (Jeremy Norman) https://archive.historyofmedicine.com/id/3542
14. Thermometry and the role of fever in medicine · Healio https://www.healio.com/news/hematology-oncology/20120325/thermometry-and-the-role-of-fever-in-medicine
15. Robert FitzRoy and the early Met Office · Met Office https://www.metoffice.gov.uk/research/library-and-archive/archive-hidden-treasures/robert-fitzroy
16. Air pressure · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure
17. Learning lesson: the "dry" barometer · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/ll-pressure2
18. Cubical expansion coefficients of liquids · The Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/cubical-expansion-coefficients-d_1262.html
19. Calibrating your food thermometer · Texas A&M AgriLife Extension https://agrilifeextension.tamu.edu/calibrating-your-food-thermometer
20. High-altitude cooking (Guide E-215) · New Mexico State University Cooperative Extension https://pubs.nmsu.edu/_e/E215/
21. Cooking your food · Food Standards Agency https://www.gov.uk/government/publications/cooking-your-food/cooking-your-food
22. What to do if a mercury thermometer breaks · US Environmental Protection Agency https://www.epa.gov/mercury/what-do-if-mercury-thermometer-breaks

Datos verificados el 2026-10-14

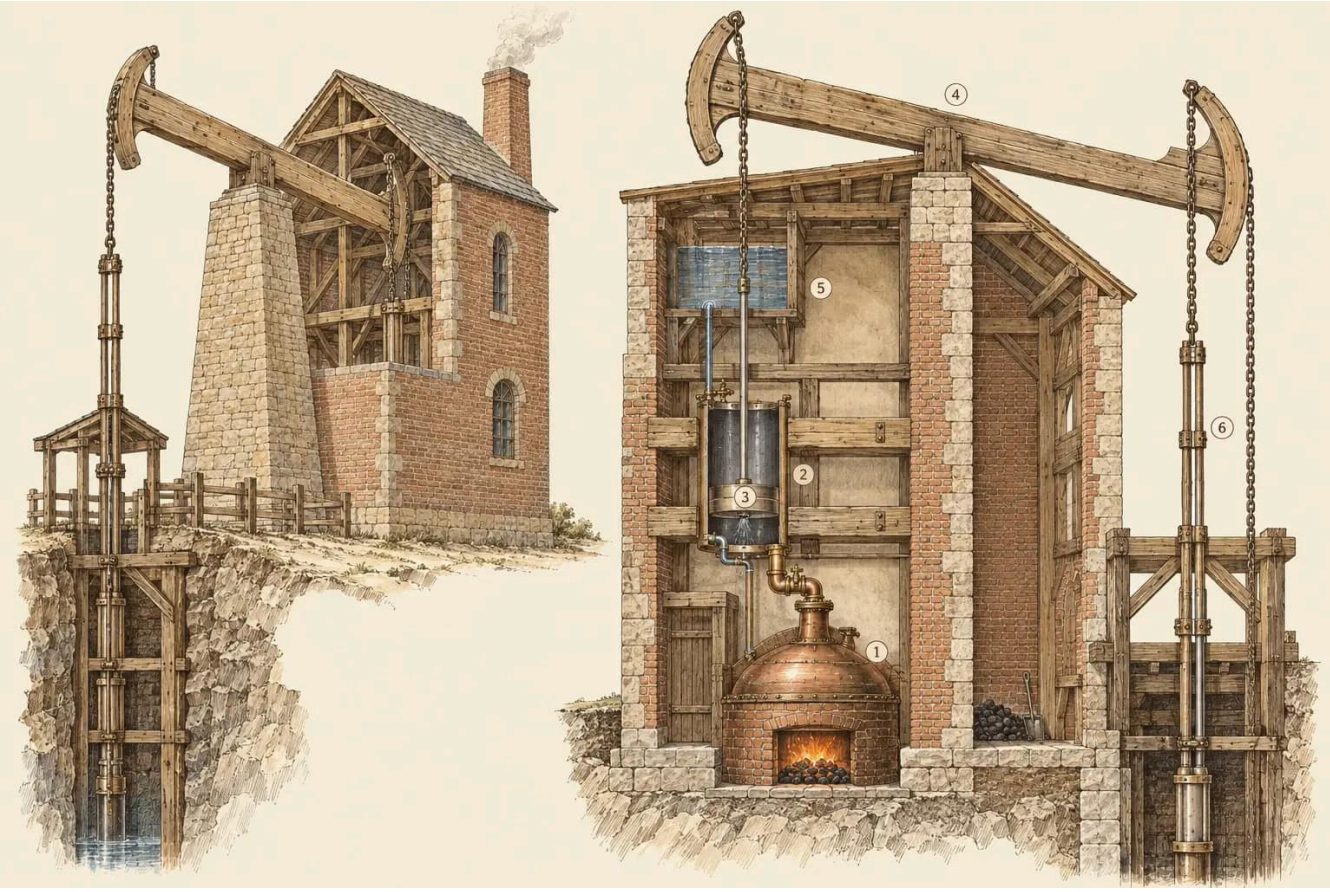
Máquina de vapor

El calor convertido en movimiento

1712 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Reducción del hierro (p. 136), Engranajes (p. 153), Bomba de pistón (p. 161)

Conduce a: Motor de combustión interna (p. 313), Refrigeración (p. 281), Locomotora de vapor (p. 243), Turbina de vapor (p. 325)



1 Caldera 2 Cilindro 3 Pistón 4 Balancín 5 Depósito de agua de inyección 6 Varillas de bomba

Una máquina de vapor convierte el calor de un fuego en movimiento usando vapor para empujar un pistón. La máquina de Thomas Newcomen de 1712 sacaba agua de las minas, y las mejoras de James Watt a partir de 1765 abarataron tanto la fuerza del vapor que pudo mover las fábricas de la Revolución Industrial.

Qué es

Una máquina de vapor usa el vapor del agua hirviendo para empujar un pistón y así convierte un combustible en trabajo mecánico. Las primeras sacaban agua de las minas; las posteriores movieron hilaturas y otras máquinas, e impulsaron barcos y locomotoras.

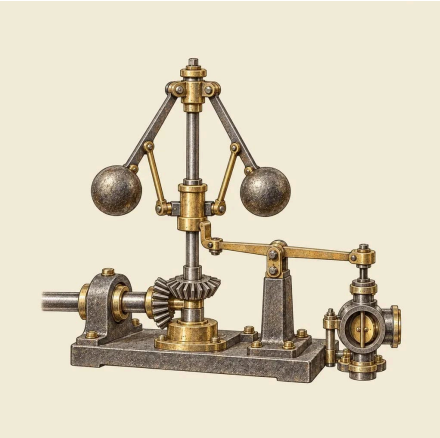
La máquina de la lámina es del tipo que construyó Thomas Newcomen en 1712. Se llama máquina atmosférica porque el trabajo lo hace la presión del aire exterior; el vapor solo sirve para hacer el vacío. Su caldera trabaja apenas por encima de la presión atmosférica, de modo que tiene muchas menos probabilidades de reventar que las calderas de alta presión del siglo XIX.

Cómo funciona

La máquina gira en torno a un cilindro vertical, abierto por arriba, con un pistón dentro. El pistón cuelga de una cadena en un extremo de un gran balancín de madera que oscila sobre el muro de la casa de máquinas. Del otro extremo cuelgan las varillas de bomba, que bajan por el pozo hasta las bombas del fondo de la mina.

Las pesadas varillas tiran hacia abajo de su extremo del balancín, lo que levanta el pistón, y el vapor de la caldera, situada debajo, llena el cilindro. Una válvula corta el vapor. Un chorro de agua fría del depósito se pulveriza dentro del cilindro: el vapor se condensa al instante en un poco de agua y deja un vacío parcial. El aire que hay sobre el pistón empuja entonces con más fuerza que el vapor enrarecido que queda debajo. En un cilindro de medio metro de diámetro, esa diferencia de presión puede llegar en teoría a unos 20 kilonewtons, el peso de dos toneladas; la fuerza útil era bastante menor. El pistón baja, el balancín bascula y las varillas suben, sacando agua de la mina.

La eolípila de Herón de Alejandría, en el siglo I d. C., giraba con chorros de vapor pero no hacía ningún trabajo útil.



En las máquinas posteriores de Watt, las bolas del regulador se separan cuando la máquina se acelera y cierran en parte la válvula de vapor.

Cuando vuelve a entrar vapor, expulsa el aire por una pequeña válvula de purga, mientras el agua condensada sale por un tubo aparte con válvula de retención. El ciclo se repite unas doce veces por minuto. Una varilla con topes, colgada del balancín, abre y cierra las válvulas por sí sola.

En cada embolada el chorro frío enfría el cilindro, y la carga siguiente de vapor tiene que calentarlo de nuevo antes de poder llenarlo. La mayor parte del carbón se gasta en ese recalentamiento.

La solución de James Watt fue condensar el vapor en un recipiente aparte, siempre frío, mientras el cilindro seguía caliente. Más tarde cerró la parte superior del cilindro, hizo actuar el vapor por ambos lados del pistón y añadió engranajes para obtener un movimiento giratorio, de modo que la máquina pudiera mover talleres además de bombas.

Cómo construirla

Una máquina atmosférica necesita un calderero, un fundidor capaz de colar y mandrilar un cilindro, un carpintero para el balancín y un albañil para la casa.

Hacer la caldera. Antiguamente era una envoltura remachada de cobre o de hierro forjado con la parte superior abombada, asentada en obra de ladrillo sobre una parrilla de fuego, con una válvula de seguridad de contrapeso, grifos para comprobar el nivel del agua y un tubo de alimentación. Una reconstrucción que funcione necesita una caldera diseñada, probada e inspeccionada por un calderero cualificado; no improvises nunca una.

Colar y mandrilar el cilindro. El cilindro se sitúa justo encima de la caldera, sostenido por gruesas vigas empotradas en los muros, y solo se une a ella por un tubo corto de vapor. Su interior debe ser redondo y liso en toda su longitud, o el pistón perderá; mandrilar con precisión fue uno de los problemas más difíciles del siglo XVIII.

Ajustar el pistón. Guarnece su borde con cuerda o cuero y mantén encima una capa fina de agua para sellarlo.

Levantar el balancín. Hazlo de roble, con un sector curvo en cada extremo para que las cadenas tiren en vertical. Apoya su eje central sobre un muro grueso.

Montar las válvulas. Una deja entrar el vapor y otra pulveriza agua fría de un depósito colocado en alto; una válvula de purga deja salir el aire, y un tubo con válvula de retención evacua el agua condensada. Manéjalas primero a mano y después con topes fijados a una varilla que cuelga del balancín.

> **Seguridad.** Una caldera con la válvula de seguridad obstruida, atascada o sobrecargada puede estallar: no bloquees ni aísles nunca la vía de descarga, y no añadas nunca peso a la válvula. El vapor y el agua caliente producen quemaduras graves. Mantente lejos del balancín, las cadenas y las varillas mientras la máquina funciona, y cerca el pozo.

Historia y evolución

Herón de Alejandría describió en el siglo I d. C. una esfera que giraba con chorros de vapor, pero no pasó de curiosidad. En 1690 Denis Papin mostró que la condensación del vapor bajo un pistón podía levantar un peso. Thomas Savery patentó en 1698 una bomba sin pistón: aspiraba agua condensando vapor en un recipiente y luego la impulsaba más arriba con la presión del vapor, pero solo servía para alturas modestas.

Newcomen, ferretero de Dartmouth, y su socio John Calley instalaron la primera máquina en servicio en 1712, en una mina de carbón cerca del castillo de Dudley. Como la patente de Savery abarcaba la elevación de agua por medio del fuego, las máquinas de Newcomen se construyeron bajo esa patente hasta que expiró en 1733. Cuando Newcomen murió, en 1729, ya funcionaban más de cien en Gran Bretaña y Europa.

El engranaje de sol y planeta de Watt, de 1781, convertía el vaivén del balancín en rotación.

En 1763 James Watt, fabricante de instrumentos en la Universidad de Glasgow, recibió el encargo de reparar un modelo de máquina Newcomen. Dos años después tuvo la idea del condensador separado, que patentó en 1769. Con Matthew Boulton empezó a vender máquinas en 1776. Consumían alrededor de la cuarta parte del combustible de una máquina Newcomen de igual potencia. Hacia 1800, cuando expiraba la patente de Watt, Richard Trevithick y otros recurrieron al vapor a alta presión para construir máquinas más pequeñas y ligeras, que pronto pasaron a los raíles y a los barcos.

Cifras clave

Primera máquina en servicio
1712, mina de carbón de Conygree, cerca de Dudley (Inglaterra)

Ritmo de trabajo
Unas 12 emboladas por minuto

Condensador separado de Watt
Ideado en 1765, patentado en 1769, alrededor de un 75 % menos de combustible

Presión en una caldera Newcomen
Unos 0,07 a 0,14 bar por encima de la presión atmosférica

Máquinas Newcomen construidas hasta 1729
Más de 100

Fuentes

1. Newcomen atmospheric engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_atmospheric_engine
2. Watt steam engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine
3. Newcomen atmospheric engine (object 1920-124) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50900/newcomen-atmospheric-engine-atmospheric-steam-engine
4. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki (ASME) https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
5. A new age · Science Museum https://blog.sciencemuseum.org.uk/a-new-age/

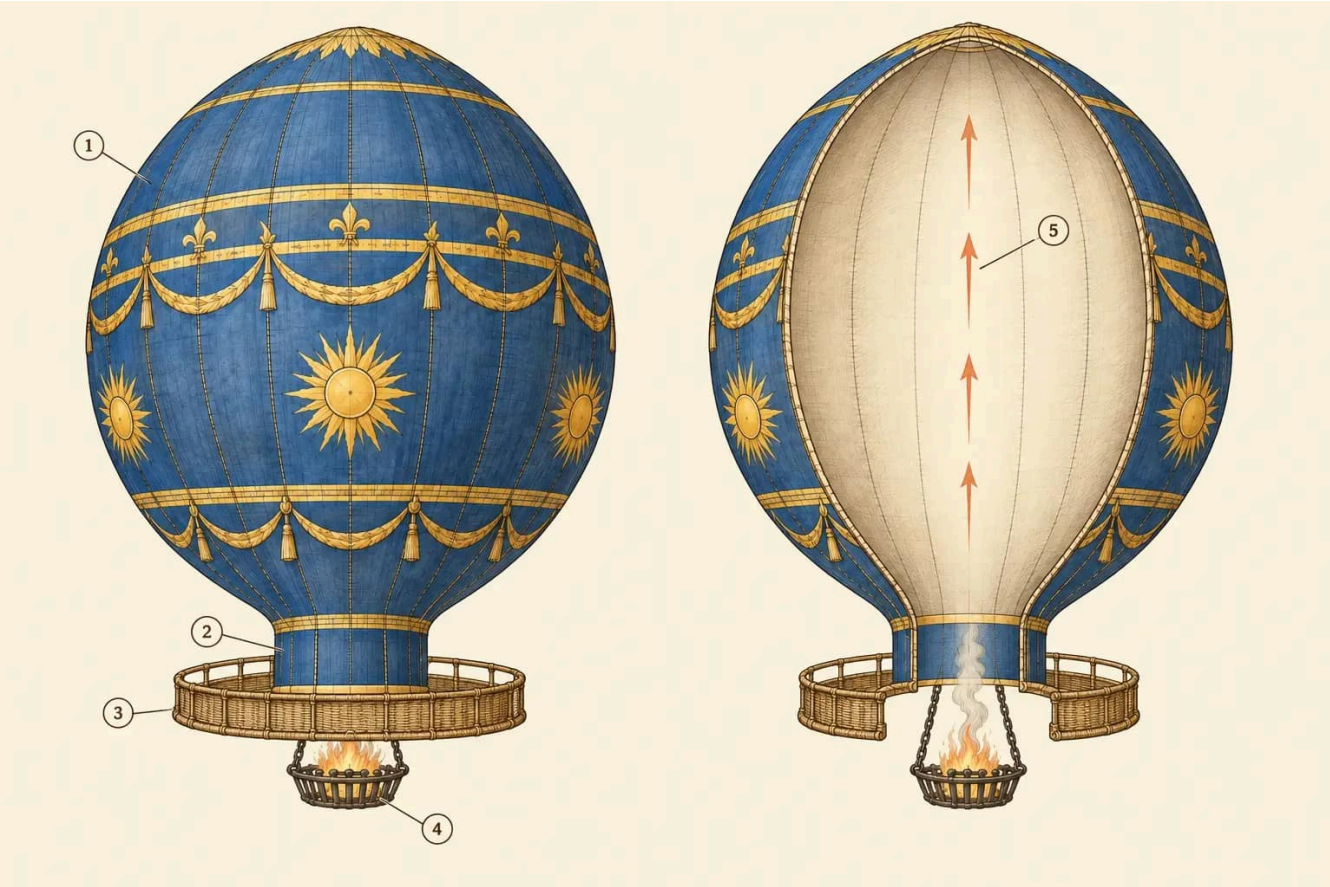
Datos verificados el 2026-10-11

Globo aerostático

Elevarse con aire caliente

1783 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Papel (p. 169), Dominio del fuego (p. 9), Tejido en telar (p. 44)



1 Envoltura 2 Boca abierta 3 Galería de mimbre 4 Brasero 5 Aire caliente ascendente

Un globo aerostático asciende porque el aire caliente de su envoltura es más ligero que el aire más fresco que lo rodea. Los hermanos Montgolfier, que habían hecho volar un pequeño modelo en una habitación en 1782, mostraron uno en público por primera vez en Francia en 1783, y el 21 de noviembre de ese año su globo llevó a dos hombres sobre París en el primer vuelo humano libre.

Qué es

Un globo aerostático de aire caliente es una gran bolsa ligera, la envoltura, abierta por abajo y llena de aire caliente. El aire caliente es menos denso que el frío, así que la bolsa y lo que cuelga de ella pesan menos que el aire exterior que desplazan, y el conjunto sube. Nada lo impulsa: un globo sube cuando se calienta el aire que contiene, baja cuando ese aire se enfría y deriva con el viento.

El globo de la lámina es el que Joseph y Étienne Montgolfier, fabricantes de papel de Annonay, construyeron para el primer vuelo libre con personas a bordo, el 21 de noviembre de 1783. Los relatos le atribuyen algo más de 20 m de altura. Era de tela, descrita como lino o tafetán, forrada de papel, cubierta con un barniz de alumbre contra el

fuego y pintada de azul y oro. Una galería de mimbre en forma de anillo rodeaba la boca abierta y llevaba a los dos aeronautas, y en el centro de la abertura colgaba un brasero de hierro donde ardía paja.

Cómo funciona

A la presión del nivel del mar, un metro cúbico de aire a 20 °C pesa unos 1,2 kg. Calentado a 100 °C, el mismo volumen pesa solo unos 0,95 kg, porque el aire se ha dilatado y parte de él ha salido por la boca abierta. Cada metro cúbico de aire caliente de la envoltura da, por tanto, alrededor de un cuarto de kilo de sustentación, que debe cargar con la envoltura y el equipo antes que con ningún pasajero. Un globo necesita un volumen enorme para llevar algo: la envoltura de los Montgolfier de 1783 contenía más de mil metros cúbicos.

El aire caliente sube a la cúpula y empuja la tela. El calor se escapa poco a poco a través del tejido y por la boca, así que hay que calentar el aire una y otra vez. En 1783 los aeronautas echaban paja con horcas en el brasero por unas aberturas de la galería; para subir añadían combustible, para bajar dejaban que el fuego se apagara. La envoltura prendió varias veces durante el primer vuelo, y apagaron los focos con esponjas mojadas.

Un globo moderno: bombonas de propano en una barquilla de mimbre y un quemador bajo la boca abierta de una envoltura de nailon.

Un globo moderno funciona igual con mejores materiales. La envoltura es de nailon o poliéster, la barquilla de mimbre, y un quemador de propano lanza llamaradas cortas y potentes a la boca de la envoltura. El piloto sube o baja para buscar vientos que soplen en otras direcciones: es su única forma de dirigirlo.

Cómo construirlo

Una maqueta de papel de seda inflada con el aire caliente de un secador de pelo muestra el principio sin ninguna llama. Tiene que ser grande y ligera, porque el aire de un secador solo está moderadamente caliente.

Cortar los gajos. Haga una plantilla de cartón para un gajo: una hoja larga y puntiaguda de 2 m de largo y 40 cm en su parte más ancha, con el extremo inferior cortado en recto donde mide 8 cm de ancho. Corte ocho gajos del papel de seda más fino que encuentre, uniendo pliegos con barra de pegamento si hace falta.

Pegar la envoltura. Pegue los gajos borde con borde, solapándolos alrededor de 1 cm, de modo que las puntas se junten arriba y los extremos rectos de abajo formen una boca redonda. Cierre la parte de arriba con un pequeño parche redondo. Pegue la boca a un aro de alambre fino o de cartulina ligera de 20 cm de diámetro para que se mantenga abierta.

Inflarla. En interior, en una habitación fresca y sin corrientes, pida a alguien que sostenga la envoltura derecha por arriba, con la boca hacia abajo. Sople en la boca durante dos o tres minutos el aire de un secador en su posición más caliente, desde unos 20 cm por debajo, moviéndolo y sin tapar su entrada de aire. Apague el secador y retírelo antes de soltar, para que solo el aire caliente del interior la levante. Si la bolsa tira hacia arriba, subirá hacia el techo y bajará al enfriarse el aire; si no, el aire no está bastante caliente para su peso, y un papel más fino o una envoltura mayor ayudarán.

Una maqueta de ocho gajos de papel: el aire caliente de un secador puede elevarla si el papel es bastante ligero.

> **Seguridad.** No caliente nunca un globo de papel con una vela, un quemador o cualquier llama, y no suelte nunca farolillos voladores: caen todavía encendidos y provocan incendios. Mantenga el secador al menos a 20 cm del papel, no tape nunca su entrada de aire y pare enseguida si el papel se oscurece o huele a chamuscado. Los globos de verdad solo los vuelan pilotos con licencia y equipos certificados.

Historia y evolución

Joseph Montgolfier hizo volar un pequeño globo de seda en una habitación en noviembre de 1782 y luego construyó otros mayores con su hermano Étienne. El 4 de junio de 1783, en la plaza del mercado de Annonay, soltaron un globo sin tripulantes, de tela y papel, de unos 11 m de diámetro, que subió muy alto sobre la ciudad y bajó a más de kilómetro y medio al cabo de unos diez minutos.

El 19 de septiembre de 1783, en Versalles, ante Luis XVI y María Antonieta, un globo llevó en una cesta una oveja, un pato y un gallo. Dos meses después, el 21 de noviembre, Jean-François Pilâtre de Rozier, profesor de ciencias, y el marqués de Arlandes, oficial del ejército, despegaron de los jardines del castillo de la Muette, junto al Bois de Boulogne, en el oeste de París. Volaron unos 25 minutos, a 900 m de altura como mucho, y aterrizaron en campo abierto cerca de la actual plaza de Italia, a unos 9 km. Diez días después, Jacques Charles y Nicolas-Louis Robert despegaron de las Tullerías en un globo de hidrógeno. Los globos de gas aguantaban mucho más en el aire, y el aire caliente se usó poco a partir de entonces.

Los primeros pasajeros, en Versalles en septiembre de 1783: una oveja, un pato y un gallo.

El globo de aire caliente volvió a finales de la década de 1950, cuando el estadounidense Ed Yost combinó una envoltura de tejido sintético con un quemador de propano en bombona. Su vuelo desde Bruning, en Nebraska, el 22 de octubre de 1960, se considera el primero de un globo moderno de aire caliente, y desde 1961 su empresa, Raven Industries, vendió globos para uso deportivo.

Cifras clave

Primera ascensión pública
Annonay, 4 de junio de 1783, sin tripulantes

Primeros pasajeros
Una oveja, un pato y un gallo, Versalles, 19 de septiembre de 1783

Primer vuelo humano libre
21 de noviembre de 1783, París: unos 25 minutos, cerca de 9 km

Sustentación del aire caliente
Unos 0,25 kg por metro cúbico con aire a 100 °C frente a 20 °C, al nivel del mar

Globo moderno
Ed Yost, Bruning (Nebraska), 22 de octubre de 1960: quemador de propano

Fuentes

1. Model of Montgolfier balloon used in first demonstration to carry human passengers in free flight · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co29133/model-of-montgolfier-balloon-used-in-first-demonstration-to-carry-human-passengers-in-free-flight
2. Montgolfier balloon · The Museum of Flight, Seattle https://www.museumofflight.org/aircraft/montgolfier-baloon
3. Smithsonian recalls 1st manned (balloon) flight · The Christian Science Monitor https://www.csmonitor.com/1983/1205/120524.html
4. Scientist of the Day: Jacques-Alexandre Charles · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/jacques-alexandre-charles
5. How the CIA's secret balloon program led Ed Yost to invent the modern hot air balloon · Seattle Ballooning https://seattleballooning.com/how-the-cia-secret-balloon-program-led-ed-yost-to-invent-the-modern-hot-air-balloon/
6. Ed Yost · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ed_Yost
7. 21 November 1783 · This Day in Aviation https://www.thisdayinaviation.com/?p=9465
8. Montgolfier brothers (Hall of Fame) · San Diego Air & Space Museum https://sandiegoairandspace.org/hall-of-fame/honoree/montgolfier-brothers
9. Scientist of the Day: The Montgolfier Brothers · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/the-montgolfier-brothers/
10. Earth Atmosphere Model (metric units) · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html
11. Drag of a Sphere · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-of-a-sphere

Datos verificados el 2026-10-12

Vacunación

Enseñar al cuerpo por adelantado

1796 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Vidrio (p. 132)
Conduce a: Penicilina (p. 356)

1 Vaca lechera, fuente de la viruela vacuna 2 Ordeñadora 3 Lanceta en su estuche 4 Frasco de vidrio 5 Pluma de ave y tintero 6 La Inquiry de Jenner (1798)

La vacunación entrena al sistema inmunitario con una forma debilitada, muerta o parcial de un germen, para que el cuerpo pueda vencer más tarde la enfermedad real. Edward Jenner demostró en 1796 que la viruela vacuna protege contra la viruela, y dos siglos después la vacunación convirtió la viruela en la primera enfermedad humana erradicada.

Qué es

La vacunación prepara al cuerpo contra una enfermedad infecciosa, normalmente antes de que se encuentre con ella. La persona recibe una versión debilitada, muerta o parcial del germen, o las instrucciones para fabricar uno de sus componentes. El sistema inmunitario responde como ante una infección real, con mucho menos riesgo que la enfermedad en sí, y guarda memoria del encuentro. Si el germen verdadero llega después, la defensa arranca deprisa y por lo general lo frena antes de que cause daños graves.

La palabra viene del latín *vacca*, vaca. La primera vacuna usaba la viruela vacuna, una enfermedad leve del ganado que las ordeñadoras contraían en las manos, para proteger contra la viruela, una de las enfermedades más mortíferas de la historia. La lámina es una composición: el entorno rural del experimento de 1796 y, a su lado, objetos de la época, una lanceta en su estuche, un frasco de vidrio, una pluma y el libro que Jenner publicó en 1798.

Cómo funciona

El sistema inmunitario aprende a reconocer los gérmenes por sus formas moleculares, llamadas antígenos. En un primer encuentro tarda días en encontrar las células adecuadas y multiplicarlas. Algunos glóbulos blancos, los linfocitos B, fabrican anticuerpos que se fijan al germen y lo marcan para su destrucción. Otros, los linfocitos T, matan las células infectadas y coordinan la respuesta. Ese retraso explica que una primera infección pueda volverse grave.

Cuando la infección pasa, queda una población de células de memoria, a veces de por vida. Un segundo encuentro con el mismo antígeno desencadena una reacción más rápida y más fuerte. La vacuna ofrece ese primer encuentro con un riesgo mucho menor que el de la propia enfermedad.

La viruela vacuna protegía contra la viruela porque los dos virus son parientes cercanos: sus antígenos se parecen lo bastante como para que la inmunidad frente a uno cubra el otro. Las vacunas posteriores se fabricaron de otras maneras. Algunas usan un germen vivo tan debilitado que rara vez causa enfermedad, un método que inauguró Louis Pasteur; no se administran a todo el mundo, porque una persona con las defensas muy debilitadas aún puede enfermar con ellas. Otras emplean un germen muerto, un fragmento purificado o una toxina inactivada. Las más recientes dan a las células el código genético para fabricar durante poco tiempo una proteína inofensiva del germen.

En las enfermedades que se transmiten de persona a persona, el germen deja de circular con facilidad cuando una parte suficiente de la comunidad es inmune y deja de transmitirlo. Esta inmunidad de grupo protege también a quienes no pueden recibir una vacuna concreta o responden mal a ella. La proporción necesaria depende de lo contagiosa que sea la enfermedad, y de hasta qué punto y durante cuánto tiempo la vacuna impide la transmisión. El tétanos, que se contrae a través de la tierra y no de otras personas, no ofrece esa protección compartida.

Las vacunas se desarrollan y fabrican bajo una estricta regulación sanitaria y por lo general las administran profesionales de la salud. Como cualquier medicamento, pueden tener efectos secundarios, que se vigilan después de su autorización.

Cómo se fabrican las vacunas

Durante la mayor parte del siglo XIX la única vacuna fue la de la viruela, y la principal dificultad consistía en mantener vivo el virus de un paciente al siguiente.

De brazo a brazo. Nadie sabía aún cultivar el virus de la viruela vacuna en un laboratorio, así que se mantenía en personas. Alrededor de una semana después de la vacunación se formaba una vesícula en el punto de inoculación. El vacunador la abría con una lanceta y usaba su líquido claro, llamado linfa, para vacunar a la persona siguiente. Para enviar la vacuna más lejos, la linfa se secaba sobre pequeñas puntas de marfil, cañones de pluma o hilos, o se encerraba entre dos placas de vidrio, y se humedecía antes de usarla. La expedición española de Balmis, que zarpó en 1803, llevó la vacuna a través del Atlántico en 22 niños huérfanos, a los que se vacunaba de dos en dos durante la travesía. Pasar la linfa de una persona a otra también podía transmitir otras enfermedades, entre ellas la sífilis.

Linfa de ternera. En Nápoles, los vacunadores mantenían el virus en terneros desde principios de siglo. Después de que el método se presentara en un congreso médico en Lyon en 1864, se extendió a Francia y luego por toda Europa. A los terneros se les vacunaba con arañazos superficiales en una zona de piel afeitada, y unos días más tarde se recogía la pulpa de las vesículas. En 1891 el médico inglés Sydney Copeman demostró que, mezclada con glicerina, esa pulpa perdía en unas semanas la mayor parte de sus bacterias sin que el virus se destruyera. La linfa de ternera glicerinada, sellada en finos tubos de vidrio, se convirtió hacia 1900 en la vacuna habitual en Gran Bretaña. Cuando los virólogos del siglo XX examinaron el virus de las reservas de vacuna, descubrieron que era el virus vaccinia, un poxvirus emparentado con el de la viruela vacuna pero distinto de él.

Las puntas de marfil y las placas de vidrio selladas llevaban la linfa seca de un vacunador a otro.

Los equipos del programa de erradicación localizaban cada caso y vacunaban a las personas de su entorno.

La vacuna liofilizada y la aguja bifurcada. Con el calor del trópico, la linfa líquida perdía su eficacia en uno o dos días. En los laboratorios del Instituto Lister en Elstree, al norte de Londres, Leslie Collier desarrolló una vacuna liofilizada, protegida con peptona, que se conservaba durante meses sin refrigeración; trabajó en ella allí entre 1948 y 1955. Durante la campaña de erradicación iniciada en 1967, la OMS solo usó vacuna liofilizada e hizo controlar los lotes en laboratorios de referencia de Canadá y los Países Bajos. Al empezar la campaña, menos de una de cada diez vacunas en uso cumplía la norma. La aguja bifurcada, desarrollada en los laboratorios Wyeth de Estados Unidos en la década de 1960, es una varilla corta de acero terminada en dos puntas que retienen una sola gota de vacuna. El vacunador la presionaba contra la piel de la parte superior del brazo unas quince veces en una zona pequeña. Gastaba la cuarta parte de la vacuna que se necesitaba antes, podía esterilizarse y reutilizarse, y su manejo se aprendía en minutos.

Vacunas modernas. Las vacunas vivas atenuadas usan un germen debilitado hasta que rara vez causa enfermedad: el virus del sarampión, por ejemplo, se debilitó haciéndolo crecer durante muchas generaciones en cultivos celulares, y la vacuna BCG contra la tuberculosis es una bacteria debilitada. Las vacunas inactivadas parten de un germen cultivado, los virus en huevos o en cultivos celulares, que luego se mata con un producto químico como el formaldehído; así se hizo la vacuna contra la poliomielitis de Jonas Salk, en 1955. Los toxoides contra el tétanos y la difteria son toxinas bacterianas inactivadas de forma parecida. Las vacunas de subunidades contienen solo partes seleccionadas y purificadas del germen: la vacuna recombinante contra la hepatitis B, autorizada en Estados Unidos en 1986, es una proteína vírica fabricada por levaduras portadoras de su gen. Las vacunas de ARN mensajero no contienen ninguna parte del germen. Unas enzimas copian el ARN a partir de un molde de ADN; después se purifica y se envuelve en diminutas partículas de grasa que lo llevan al interior de las células.

Control de calidad. La producción parte de un lote de siembra de virus, bacterias o células que se conserva congelado, para que la cepa no varíe de un lote a otro. Los fabricantes analizan cada lote (identidad, esterilidad, pureza y potencia) y guardan muestras. En la mayoría de los países, una autoridad reguladora nacional y su laboratorio de control examinan esos resultados, y a veces repiten los análisis, antes de autorizar la liberación de cada lote.

> **Seguridad.** Esta sección describe cómo han fabricado vacunas los laboratorios y las fábricas. No intentes nunca preparar una vacuna por tu cuenta: un preparado casero puede llevar gérmenes peligrosos, causar una infección grave y no dar ninguna protección. Usa solo vacunas autorizadas de lotes liberados, administradas por profesionales sanitarios o, en los pocos productos autorizados para ello, exactamente según la prescripción.

Historia y evolución

Mucho antes de las vacunas existía la variolización, la infección deliberada de una persona sana con materia de una pústula de viruela. Solía provocar una forma más leve seguida de inmunidad de por vida, aunque algunas personas morían. La práctica era antigua en China, la India y el Imperio otomano. Lady Mary Wortley Montagu la conoció en Constantinopla y en 1721 hizo variolizar a su hija en Londres, lo que contribuyó a difundirla en Gran Bretaña.

Los granjeros del oeste de Inglaterra habían observado desde hacía tiempo que las ordeñadoras que pasaban la viruela vacuna parecían librarse de la viruela. El cirujano John Fewster habló de ello en 1768, y en 1774 Benjamin Jesty, granjero de Dorset, contagió a propósito la viruela vacuna a su mujer y a dos de sus hijos durante una epidemia.

Edward Jenner, médico en Berkeley, en el condado de Gloucestershire, convirtió aquella observación popular en un experimento. El 14 de mayo de 1796 tomó materia de una pústula de viruela vacuna de la mano de la ordeñadora Sarah Nelmes y la introdujo en el brazo de James Phipps. Unas semanas después expuso al niño a materia de viruela, y Phipps no enfermó. La Royal Society no publicó su primer informe, así que en 1798 Jenner publicó el caso, junto con otros, a su costa en un breve libro, la *Inquiry*. En pocos años la vacunación se extendió por toda Europa y por América.

A finales de la década de 1870, Louis Pasteur comprobó que un cultivo de la bacteria del cólera de las gallinas, dejado envejecer, ya no causaba la enfermedad pero seguía protegiendo a las aves. Desarrolló vacunas contra el carbunco de las ovejas en 1881 y después contra la rabia. El 6 de julio de 1885, Joseph Meister, un niño de nueve años mordido por un perro rabioso, empezó el tratamiento y sobrevivió. Suele considerarse la primera persona vacunada contra la rabia, aunque los historiadores han encontrado intentos anteriores con pacientes en mayo y junio de 1885. El virus de la rabia suele tardar semanas en llegar al cerebro, así que una vacunación poco después de la mordedura, antes de cualquier síntoma, aún podía impedir la enfermedad. Cualquier sospecha de exposición requiere atención médica inmediata. El siglo XX añadió vacunas contra la difteria, el tétanos, la tos ferina, la tuberculosis, la poliomielitis, el sarampión y muchas otras enfermedades.

Pasteur obtenía sus vacunas debilitando el germen de la propia enfermedad.

En 1967 la Organización Mundial de la Salud lanzó una campaña intensificada para acabar con la viruela. El último caso natural se produjo en Somalia en 1977, y el 8 de mayo de 1980 la Asamblea Mundial de la Salud declaró erradicada la enfermedad. En 2020, vacunas basadas en ARN mensajero, fruto de varias décadas de investigación, se emplearon contra la COVID-19 menos de un año después de identificarse el virus.

Cifras clave

Primera vacunación de Jenner
14 de mayo de 1796, Berkeley (Gloucestershire)

Comienza el tratamiento antirrábico de Joseph Meister
6 de julio de 1885, París

Aguja bifurcada
Década de 1960, laboratorios Wyeth; la cuarta parte de la vacuna que se usaba antes

Letalidad de la viruela
Alrededor del 30 % de los casos (viruela mayor)

Viruela declarada erradicada
8 de mayo de 1980, Organización Mundial de la Salud

Fuentes

1. Smallpox · World Health Organization https://www.who.int/health-topics/smallpox
2. Jenner, Fewster and Jesty · British Society for the History of Medicine https://bshm.org.uk/jenner-fewster-and-jesty/
3. The final years 1877–1887 · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/en/about-us/final-years-1877-1887
4. Edward Jenner · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Jenner
5. Edward Jenner's ivory vaccination points, England, 1821 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148487/edward-jenners-ivory-vaccination-points-england-1821-vaccination-point
6. Ivory vaccination points in a wooden box, Europe, 1801-1900 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148479/ivory-vaccination-points-europe-1801-1900-vaccination-point
7. Vaccine points used by Edward Jenner · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/j36r9neu
8. The XIX century smallpox prevention in Naples and the risk of transmission of human blood-related pathogens · Journal of Translational Medicine https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4328853/
9. Sydney Arthur Monckton Copeman · Royal College of Physicians https://history.rcp.ac.uk/inspiring-physicians/sydney-arthur-monckton-copeman
10. Collier, Professor Leslie Harold (papers) · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/egjmdv8t
11. Smallpox vaccines · World Health Organization https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/smallpox-vaccines
12. Donald Ainslie Henderson (1928–2016): smallpox eradication, leadership and legacy · The Journal of Infectious Diseases https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5388283/
13. Different types of vaccines · History of Vaccines (College of Physicians of Philadelphia) https://historyofvaccines.org/vaccines-101/what-do-vaccines-do/different-types-vaccines/
14. Lot release of vaccines by NRAs/NCLs · World Health Organization https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/norms-and-standards/vaccine-standardization/lot-release-of-vaccines
15. Smallpox and its eradication (Fenner, Henderson, Arita, Ježek, Ladnyi), chapter 7 · World Health Organization https://iris.who.int/handle/10665/39485
16. Smallpox vaccination in 2003: key information for clinicians · Clinical Infectious Diseases https://doi.org/10.1086/374792
17. Expected vaccine reactions (smallpox vaccine) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/smallpox/hcp/vaccines/expected-vaccine-reactions.html
18. Vaccination, Encyclopaedia Britannica, 9th edition, volume 24 · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/Page:Encyclop%C3%A6dia_Britannica,_Ninth_Edition,_v._24.djvu/40

Datos verificados el 2026-10-12

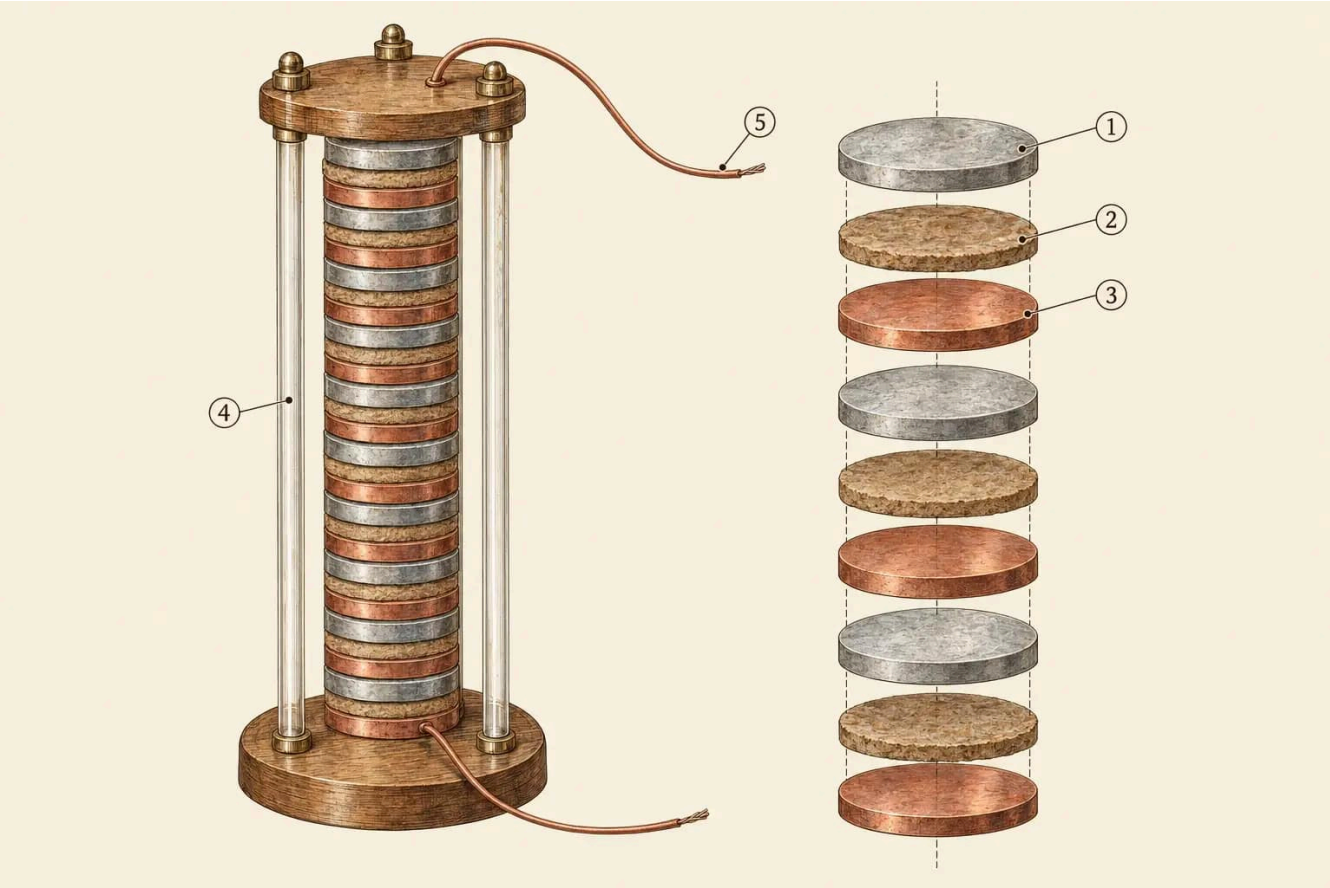
Pila eléctrica

Corriente eléctrica nacida de la química

1800 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Bronce (p. 123)

Conduce a: Motor eléctrico (p. 277), Generador eléctrico (p. 273), Batería de plomo-ácido (p. 303), Célula solar (p. 370), Telégrafo eléctrico (p. 285)



1 Disco de cinc 2 Cartón empapado en salmuera 3 Disco de cobre 4 Varilla de vidrio 5 Cable de salida

Una pila eléctrica convierte en corriente continua las reacciones químicas que se producen en dos electrodos separados por un electrolito, un medio que conduce iones. La pila de cinc, cobre y salmuera de Alessandro Volta, de 1800, fue la primera, y todas las pilas y baterías posteriores, desde el frasco del telégrafo hasta la batería de litio del teléfono, funcionan según el mismo principio.

Qué es

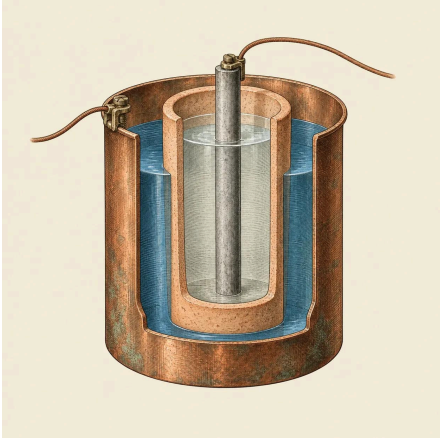
Una pila almacena energía en forma química y la devuelve como corriente eléctrica cuando un circuito con una lámpara u otra carga une sus dos bornes. La unidad básica se llama elemento. En tiempos de Volta, «batería» designaba varios elementos unidos, como la columna, o «pila», que él montó en 1800; hoy la palabra se usa también para un solo elemento.

Antes de la pila, la electricidad solo se obtenía en chispas breves; la pila daba una corriente que duraba horas.

Cómo funciona

Cada elemento tiene un disco de cinc, otro de cobre y, entre ambos, una rodaja de cartón o paño empapada en agua salada. El cinc cede electrones más fácilmente que el cobre: sus átomos pasan a la salmuera como iones y dejan sus electrones en el disco. En el cobre, una reacción vuelve a captar electrones, gastando el oxígeno disuelto en la salmuera o liberando hidrógeno. Cuando un circuito exterior une los dos extremos, los electrones circulan por él del cinc al cobre, y los iones que atraviesan la capa húmeda cierran el circuito.

Un par cinc-cobre en salmuera da algo menos de un voltio. Veinte pares en serie suman sus tensiones, lo bastante para notar un hormigueo en los dedos mojados: así comprobaba Volta sus pilas. La intensidad depende de la superficie de los discos y de la velocidad de la reacción.



En la pila Daniell se deposita cobre en la pared del recipiente en lugar de hidrógeno, y la tensión se mantiene estable.

Mientras la pila trabaja, el oxígeno disuelto junto al cobre se agota y unas burbujas de hidrógeno empiezan a cubrirlo, de modo que la corriente baja. Además, el peso de la columna exprime la salmuera de las capas bajas, y el cinc se corroe. En 1836 John Frederic Daniell dio a cada metal su propio líquido: el cinc en una disolución, el cobre en sulfato de cobre, separados por una barrera porosa. Se deposita cobre en vez de hidrógeno, y el elemento mantiene unos 1,1 voltios mucho tiempo.

En un elemento recargable, una corriente en sentido contrario invierte la reacción.

Cómo construirla

Una pila pequeña da poca tensión y poca corriente, pero muestra bien el principio.

Hacen falta de quince a veinte discos de cobre (valen monedas viejas de cobre), otros tantos de cinc (chapa de cinc o arandelas galvanizadas), papel secante o cartón algo más pequeño, sal, agua, dos cables aislados y, a ser posible, un voltímetro.

Limpiar el metal. Frotar cada disco de cobre con lija fina hasta que brille.

Empapar los separadores. Disolver dos cucharadas colmadas de sal en un vaso de agua y sumergir el cartón. Escurrir cada rodaja hasta que quede húmeda sin gotear: la salmuera que resbala por la columna pone los elementos en cortocircuito.

Apilar siempre en el mismo orden. Cobre, separador húmedo, cinc, y repetir en ese orden hasta arriba. No invertirlo nunca a mitad de columna ni dejar que los dos metales de un elemento se toquen por el borde del separador.

Sujetar la columna. Tres varillas de madera o vidrio fijadas a una base la mantienen recta sin aplastarla.

Conectar y medir. Fijar un cable al cobre de abajo y otro al cinc de arriba. Cada elemento da algo menos de un voltio. Un LED rojo necesita unos dos voltios y muy poca corriente: conectar la pata larga al extremo de cobre y la corta al de cinc, y probarlo solo con cuatro o cinco elementos, con los que debería brillar débilmente. Conectado al revés a más elementos, un LED puede estropearse. Cuando los separadores se sequen al cabo de unas horas, desmontar la pila y lavar y secar los discos.

Seguridad. La pila en sí es de baja tensión, pero un cortocircuito en una batería potente calienta los cables hasta quemar la piel y fundir el aislante: no unir nunca los bornes directamente. No conectar nunca una pila o batería a la red eléctrica ni intentar cargarla en un enchufe de pared. No abrir baterías comerciales: las de plomo contienen ácido sulfúrico, que quema la piel y los ojos, y desprenden hidrógeno explosivo durante la carga; los elementos de litio pueden incendiarse si se perforan, se aplastan o se cortocircuitan. El sulfato de cobre y las sales de cinc son tóxicos: usar guantes y gafas de protección, lavarse las manos y guardar el material fuera del alcance de los niños.

Historia y evolución

Las patas de rana de Galvani se contraían cada vez que un arco de dos metales unía nervio y músculo.

En la década de 1780, el anatomista boloñés Luigi Galvani vio contraerse unas patas de rana disecadas al tocar a la vez dos metales distintos. En 1791 publicó su teoría de la «electricidad animal». Alessandro Volta, profesor de física en Pavía, sostenía que la electricidad venía de los metales y que la rana solo la detectaba, y quiso probarlo sin animal.

Primero unió copas de salmuera con láminas de metal y luego construyó la pila. El 20 de marzo de 1800 describió ambos dispositivos en una carta en francés a sir Joseph Banks, presidente de la Royal Society de Londres, que la publicó ese año con un grabado de la pila: la primera imagen impresa de una batería.

Semanas después, William Nicholson y Anthony Carlisle descompusieron el agua en hidrógeno y oxígeno con una pila, y años más tarde Humphry Davy aisló el sodio y el potasio con grandes baterías. Napoleón vio una demostración de Volta en París en 1801 y lo recompensó; el voltio, unidad de potencial eléctrico, lleva su nombre.

Las líneas telegráficas necesitaban una corriente constante, y la pila Daniell se la dio. En 1859 Gaston Planté enrolló en espiral dos láminas de plomo con un separador y las sumergió en ácido sulfúrico diluido. Johann Ritter había mostrado una pila de carga experimental en 1803, pero la de Planté fue la primera batería recargable práctica. Mejorado por Camille Faure en 1881, el acumulador de plomo sigue arrancando la mayoría de los coches.

La espiral de plomo de Planté, sumergida en ácido diluido, podía cargarse y descargarse una y otra vez.

En 1866 Georges Leclanché montó un elemento con una barra de cinc y otra de carbono rodeada de dióxido de manganeso y una disolución de cloruro de amonio; en 1868 ya funcionaban veinte mil en el telégrafo. Al espesar el líquido hasta formar una pasta nació la pila seca, que alimentó las primeras linternas de bolsillo y las radios de la década de 1920. Las primeras pilas alcalinas cilíndricas comerciales llegaron en 1959, y las baterías de iones de litio, a principios de la década de 1990.

Cifras clave

Anuncio
20 de marzo de 1800, en una carta a la Royal Society

Primera batería recargable práctica
Elemento de plomo y ácido de Gaston Planté, 1859

Tensión de un elemento cinc-cobre
Menos de 1 V en salmuera; 1,1 V en una pila Daniell

Baterías de iones de litio a la venta
Principios de la década de 1990

Fuentes

1. Voltaic Pile (1800) · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/voltaic-pile-1800/
2. Electricity and Magnetism Timeline, 1800 to 1819 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/timeline/1800-1819/
3. Volta and the Pile · The Electrochemical Society, Electrochemistry Encyclopedia https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-v01-volta.htm
4. Scientist of the Day: Alessandro Volta · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/alessandro-volta
5. Timeline of Battery Development · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chem1_(Lower)/16%3A_Electrochemistry/16.07%3A_Timeline_of_Battery_Development
6. Battery History · Energizer https://oem.energizer.com/english/battery-history/

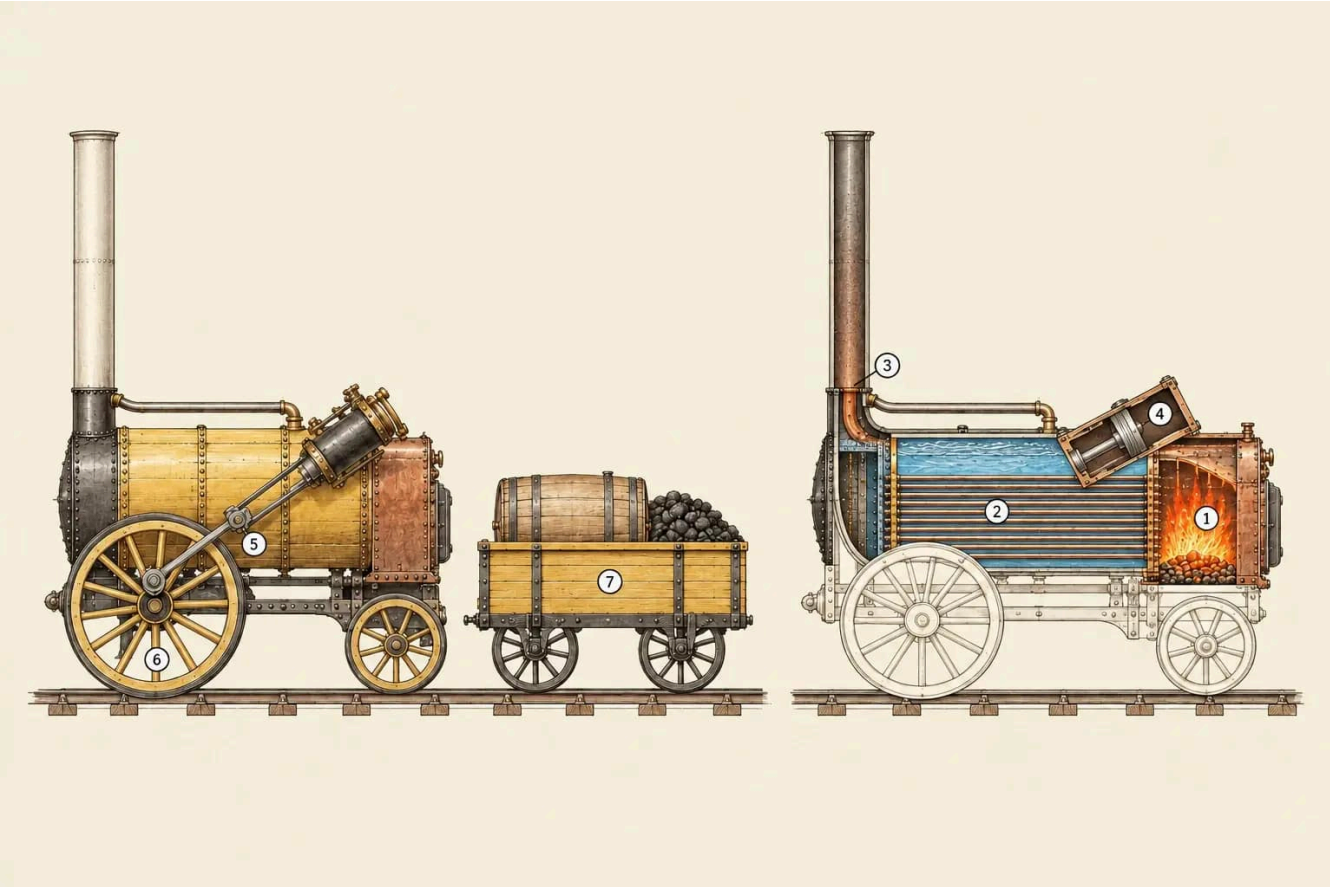
Datos verificados el 2026-10-11

Locomotora de vapor

El vapor sobre raíles

1804 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Máquina de vapor (p. 226), Rueda y eje (p. 81)



1 Hogar 2 Tubos de humos 3 Escape y chimenea 4 Cilindro 5 Biela 6 Rueda motriz 7 Ténder

Una locomotora de vapor es una máquina de vapor sobre ruedas que lleva su propio combustible y agua y arrastra trenes sobre raíles. Richard Trevithick hizo circular la primera en Gales en 1804, y la Rocket de Robert Stephenson, de 1829, fijó el modelo que siguieron casi todas las posteriores: una caldera llena de tubos de humos, un escape bajo la chimenea y cilindros que mueven directamente las ruedas.

Qué es

Una locomotora de vapor es una máquina de vapor montada sobre un bastidor con ruedas, construida para arrastrar trenes por una vía férrea. Lleva consigo carbón o coque y agua, quema el combustible en un hogar y convierte la presión del vapor en el giro de sus ruedas motrices mediante pistones y bielas. Sus ruedas de hierro corren sobre carriles de hierro o acero, donde ruedan con mucha más facilidad que unas ruedas en un camino, de modo que una sola máquina puede tirar de muchos vagones cargados.

La lámina muestra la Rocket, construida en 1829 por Robert Stephenson and Company en Newcastle upon Tyne. Reunió en una sola máquina una caldera atravesada por muchos tubos de humos y un escape de vapor en la chimenea, dos elementos que siguieron siendo habituales en las locomotoras de vapor posteriores.

Cómo funciona

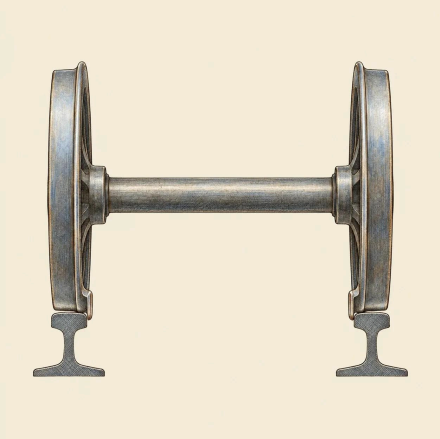
El fuego arde sobre una parrilla en el hogar, en la parte trasera. Sus gases calientes avanzan a través del cuerpo de la caldera por 25 tubos de cobre de unos 76 mm de diámetro, rodeados de agua. Muchos tubos pequeños ofrecen al agua mucho más metal caliente que un solo conducto grande: en la Rocket, los tubos daban varias veces la superficie de calefacción de las paredes del hogar (las cifras varían según las fuentes). El vapor se acumula sobre el agua a unos 3,4 bar por encima de la presión atmosférica.

Desde la caldera, el vapor pasa a los dos cilindros, uno a cada lado. Una válvula de corredera lo deja entrar primero detrás del pistón y luego delante, de modo que el pistón es empujado en los dos sentidos. Cada vástago mueve una biela, que hace girar un muñón fijado en la gran rueda delantera del mismo lado. El peso que descansa sobre ese par de ruedas, unas 2,6 toneladas en la Rocket, junto con la adherencia entre ruedas y carriles, limita cuánto puede tirar antes de que las ruedas patinen.

El escape lanza el vapor usado por la chimenea y aviva el fuego en cada golpe de pistón.

El vapor usado sale de los cilindros por un tubo que termina en una tobera bajo la chimenea; cada bocanada arrastra el humo y aspira aire fresco a través del fuego. Cuanto más trabaja la máquina, más fuerte es el tiro, lo que ayuda a la caldera a seguir el consumo de los cilindros; aun así, el fogonero tiene que alimentar el fuego y mantener el nivel de agua.

Cómo construirla



La pestaña del borde interior de cada rueda mantiene el eje entre los carriles.

Las locomotoras de tamaño real se construyen en talleres ferroviarios. Los caldereros curvan chapas de hierro o acero, las remachan para formar el cuerpo cilíndrico y el hogar y fijan los tubos en las placas tubulares de cada extremo. Antes de poder encenderla, la caldera se prueba con agua a una presión superior a la de trabajo, fijada por la normativa aplicable, y la revisa un inspector independiente. Los fundidores cuelan los cilindros, los mecánicos los mandrinan y montan pistones y válvulas, y las ruedas reciben aros de hierro colocados en caliente. Los ferrocarriles históricos que restauran hoy locomotoras están sometidos a pruebas e inspecciones parecidas.

Una maqueta sin vapor permite ver cómo se mueven las ruedas.

Cortar la rueda. Sierre en contrachapado un disco de unos 20 cm de diámetro. Pegue con firmeza en su centro una varilla de madera que hará de eje, y taladre un segundo agujero a 5 cm del centro para el muñón, una varilla corta pegada. Atornille a una tabla dos tacos verticales taladrados para recibir el eje con holgura, de modo que la rueda gire libre entre ellos.

Hacer el cilindro. Pegue un tubo de cartón o de plástico de unos 15 cm sobre un taco de madera atornillado a la tabla junto a la rueda, de modo que el tubo quede en el plano de la rueda, con su eje a la altura del eje de la rueda y apuntando a su centro. Una varilla que se deslice libremente por dentro hace de vástago.

Unir las piezas. Corte un listón fino de unos 25 cm como biela. Taladre un extremo a la medida del muñón y articule el otro al extremo del vástago con un clavo pequeño. Compruebe que la rueda puede dar una vuelta entera sin que la biela choque con el tubo.

Hacerla girar. Empuje y tire del vástago: la rueda da una vuelta por cada 10 cm de ida y 10 cm de vuelta. Fíjese en los dos puntos muertos, en los que el muñón, el eje y el extremo del vástago quedan en línea recta y empujar no sirve de nada. En las locomotoras reales de dos cilindros, las manivelas de los dos lados están desfasadas un cuarto de vuelta, de modo que una siempre está fuera de su punto muerto.

> **Seguridad.** No caliente nunca agua en un recipiente cerrado ni intente fabricar una caldera: el vapor a presión puede reventar un recipiente y producir quemaduras graves. Los modelos de vapor vivo solo deben funcionar a partir de kits comerciales con calderas probadas y válvulas de seguridad en buen estado, bajo la supervisión de un adulto. Mantenga los dedos lejos de la manivela cuando la rueda gire.

Historia y evolución

Richard Trevithick, ingeniero de Cornualles, construyó para la ferrería de Penydarren, en Merthyr Tydfil, la primera locomotora que circuló sobre raíles. El 21 de febrero de 1804 arrastró diez toneladas largas de hierro, unas 10 toneladas métricas, en cinco vagones, con setenta hombres subidos encima, por la vía de carriles que llevaba al canal de Abercynon, unos 14 km, a casi 8 km/h según su propio relato. A la vuelta se rompió un perno y la caldera empezó a perder; la máquina no regresó hasta el día siguiente. Era demasiado pesada para las placas de fundición de la vía, que se partían bajo ella, y acabó como máquina fija moviendo un martillo de forja.

En la vía de Penydarren, placas cortas de fundición clavadas a bloques de piedra guiaban ruedas sin pestaña, y se partían bajo el peso de la locomotora.

En octubre de 1829, el ferrocarril de Liverpool a Mánchester celebró en Rainhill unas pruebas para elegir sus locomotoras. Se presentaron cinco máquinas y solo la Rocket las completó. Sus recorridos de prueba dieron medias de 19 a 23 km/h, según cómo se calcule; sin carga alcanzó unos 48 km/h. Ganó el premio de 500 libras y el pedido de las máquinas de la línea. En la inauguración del ferrocarril, en 1830, la Rocket arrolló al diputado William Huskisson, que murió por las heridas. Reformada a fondo en menos de dieciocho meses, quedó apartada antes de diez años. Sus restos pasaron en 1862 al museo de la Oficina de Patentes de Londres y hoy forman parte de la colección del Science Museum Group.

Las locomotoras posteriores crecieron mucho, con más ruedas acopladas para repartir el peso y arrastrar trenes pesados, y con presiones más altas. El 3 de julio de 1938, la Mallard del London and North Eastern Railway alcanzó 203 km/h en una bajada al sur de Grantham, que sigue siendo el récord de la tracción a vapor. Fue retirada en 1963, cuando el diésel y la electricidad tomaron el relevo.

Cifras clave

Primer recorrido sobre raíles
21 de febrero de 1804, ferrería de Penydarren, Merthyr Tydfil: diez toneladas largas de hierro (unas 10 t) y 70 hombres

Caldera de la Rocket
25 tubos de cobre, unos 3,4 bar por encima de la presión atmosférica

Pruebas de Rainhill, octubre de 1829
La Rocket promedió entre 19 y 23 km/h en sus pruebas y alcanzó unos 48 km/h sin carga

Récord de velocidad a vapor
Mallard, 3 de julio de 1938: 203 km/h

Fuentes

1. Rocket locomotive (object 1862-5) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co26704
2. Richard Trevithick’s steam locomotive · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/blog/1012
3. London & North Eastern Railway steam locomotive 'Mallard' · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co205732
4. Rocket's engineering excellence · Science and Industry Museum https://blog.scienceandindustrymuseum.org.uk/rocket-engineering-excellence/
5. Stephenson's Rocket · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket
6. Penydarren tramplate · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/collections/online/object/11d39d27-d867-308a-b20a-9398afef1c6e
7. The Penydarren Tramroad · Industrial Railway Society, Industrial Railway Record https://shop.irsociety.co.uk/Archives/59/Penydarren.htm
8. Rocket · steamlocomotives.org https://www.steamlocomotives.org/locomotives/rocket
9. Rocket 0-2-2 Liverpool & Manchester Railway · Preserved British Steam Locomotives https://preservedbritishsteamlocomotives.com/rocket-0-2-2-liverpool-manchester-railway/

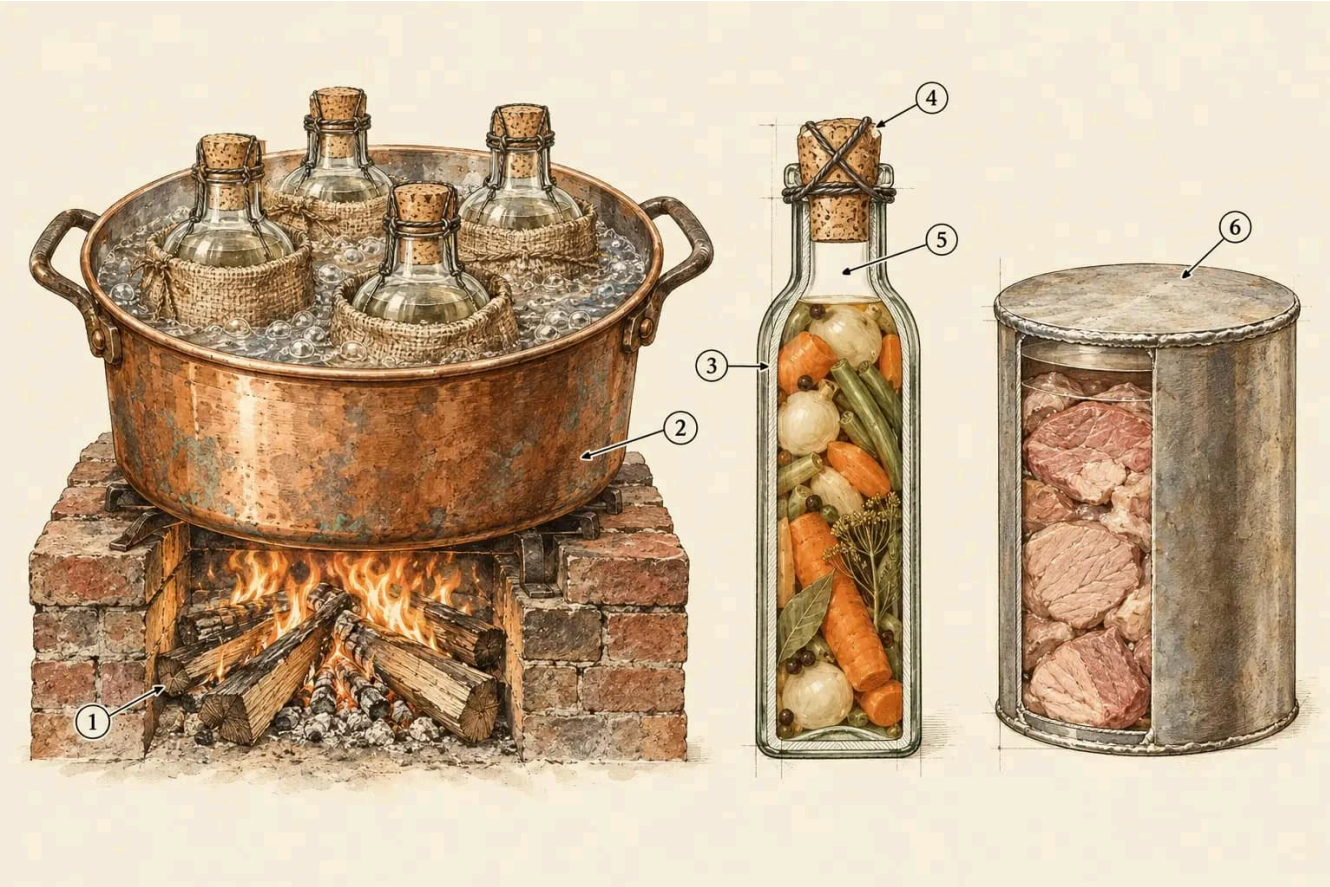
Datos verificados el 2026-10-12

Conservas y pasteurización

Cerrar, calentar y dejar fuera los microbios

1810 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Vidrio (p. 132), Reducción del hierro (p. 136), Dominio del fuego (p. 9)



1 Fuego de leña 2 Caldero de cobre con agua hirviendo 3 Botella de vidrio llena de verduras 4 Corcho atado con alambre 5 Espacio libre bajo el corcho 6 Tapa soldada de una lata de hojalata

La conserva encierra el alimento en un tarro o una lata y lo calienta lo bastante para matar los microbios que lo estropearían; la tapa cerrada impide que entren otros. Nicolas Appert publicó el método en 1810, Louis Pasteur lo explicó medio siglo después, y su tratamiento más suave, la pasteurización, hizo más segura la leche, el vino y la cerveza.

Qué es

La sal y el secado conservan los alimentos privando de agua a los microbios. La conserva los mata: el alimento se cierra en un tarro o una lata y se calienta lo suficiente para destruir los microbios que podrían estropearlo o enfermar a quien lo coma. Mientras el cierre aguanta, no entran gérmenes nuevos, y el contenido dura meses sin frío.

La lámina muestra el método que Nicolas Appert publicó en 1810, botellas tapadas con corcho y metidas en agua hirviendo, junto a la lata de hojalata soldada que en Inglaterra se adoptó poco después. La pasteurización, una

pariente más suave, calienta la leche, el vino o la cerveza por debajo del punto de ebullición. Mata la mayoría de los gérmenes que causan enfermedades, no todos los microbios, y por eso la leche pasteurizada necesita nevera.

Cómo funciona

A 100 °C, las células activas de bacterias, levaduras y mohos mueren en pocos minutos. Mientras el tarro está caliente, el aire sale por debajo de la tapa. Al enfriarse, el contenido se contrae, el vapor del espacio libre se condensa y el vacío aprieta la tapa contra el borde.

El más difícil de vencer es Clostridium botulinum. Su espora resiste la ebullición, y hay esporas en casi todas las verduras frescas. Al aire libre permanecen latentes; en un tarro cerrado con un alimento húmedo y poco ácido, a temperatura ambiente, germinan y producen la toxina botulínica, una de las sustancias más venenosas que se conocen, a menudo sin ninguna señal visible.

Las esporas no crecen con un pH de 4,6 o menos, así que la mayoría de las frutas, las mermeladas, los encurtidos en vinagre y los tomates o higos con ácido añadido son seguros tras un baño María hirviendo, que mata las levaduras y mohos que los estropearían. Verduras, carne y pescado son menos ácidos. Sus esporas deben destruirse a 116–121 °C, y el agua solo alcanza esa temperatura a presión, en una olla de conservas a presión con unos 0,7 a 1 bar por encima de la presión atmosférica, que funciona como un autoclave de cocina. Cada alimento, forma de envasado y tamaño de tarro tiene allí su tiempo probado; a 100 °C harían falta horas para el mismo efecto, y ninguna receta probada trata estos alimentos al baño María.

La olla de conservas a presión retiene el vapor, de modo que los tarros llegan a 116–121 °C en lugar de 100 °C.

Los tiempos se miden con termómetros colocados en el punto que más tarda en calentarse de cada tarro y cada alimento. En altitud el agua hierve por debajo de 100 °C, y las tablas añaden tiempo o presión.

La pasteurización trabaja a temperaturas más bajas. Las centrales lecheras suelen calentar la leche a 72 °C durante 15 segundos, o a 63 °C durante 30 minutos, y luego la enfrían. Así mueren las bacterias activas de la tuberculosis, la salmonelosis y otras enfermedades que transmitía la leche. Las esporas y algunos microbios inofensivos sobreviven, y la leche se agria en pocos días fuera de la nevera.

Cómo hacerla

Siga solo guías oficiales probadas: la del USDA y el National Center for Home Food Preservation en Estados Unidos, Health Canada, o la agencia de seguridad alimentaria de su país. Los pasos siguientes se refieren solo al baño María hirviendo, para alimentos ácidos.

Elegir una receta probada. Seguirla al pie de la letra: tamaño del tarro, espacio libre, ácido añadido (zumo de limón embotellado o ácido cítrico en los tomates), tiempo y ajuste por altitud. Añadir cebolla o pimiento a los tomates puede volverlos peligrosos.

Reunir el material. Una olla alta con tapa y rejilla, tarros de conserva con el borde intacto, tapas nuevas de dos piezas (una tapa plana con compuesto sellador sujeta por un aro de rosca) y unas pinzas para tarros. Lavarlo todo con agua caliente y jabón. Si el tiempo de proceso es inferior a 10 minutos, esterilizar antes los tarros vacíos hirviéndolos 10 minutos, más un minuto por cada 300 m de altitud por encima de 300 m.

La tapa plana con su junta se usa una sola vez; el aro de rosca dura años.

Llenar y cerrar. Dejar el espacio libre indicado, eliminar las burbujas, limpiar el borde y enroscar el aro sin forzar, para que el aire pueda salir.

Tratar con calor. Colocar los tarros sobre la rejilla en agua caliente, cubiertos por al menos 2,5 cm (5 cm si el tiempo pasa de 30 minutos). Empezar a contar solo con hervor fuerte; si el hervor se detiene, volver a contar desde cero. Al final, apagar el fuego, destapar y esperar cinco minutos.

Enfriar y comprobar. Sacar los tarros derechos y dejarlos de 12 a 24 horas. Quitar los aros y apretar cada tapa: bien sellada, está hundida en el centro y no cede. Guardar en la nevera un tarro mal cerrado y consumirlo en pocos días.

Guardar y vigilar. Conservar los tarros fechados en un lugar fresco, oscuro y seco. Antes de abrir, buscar tapas abombadas o sueltas, fugas, espuma, turbidez, moho u olor extraño.

> **Seguridad.** El botulismo es raro pero puede matar. Nunca trate verduras, carne, pescado, aves ni platos que los contengan al baño María, en el horno o en una olla abierta, salvo que una receta de encurtido probada los haya acidificado: si no, necesitan una olla de conservas a presión y un proceso a presión probado. Para la leche y los lácteos no existe ningún método casero probado: no los envase nunca. Nunca acorte un tiempo ni reduzca el ácido. Nunca pruebe un tarro sospechoso: la toxina no se ve, no huele y no sabe a nada. Ante la duda, tírelo. Visión borrosa o doble, párpados caídos, habla torpe, dificultad para tragar o debilidad que se extiende tras comer una conserva son una urgencia: llame enseguida al número de emergencias local (el 112 en España). El agua hirviendo y los tarros calientes queman; use las pinzas.

Historia y evolución

Appert, confitero en París, empezó sus ensayos en la década de 1790, cuando la Francia en guerra necesitaba víveres duraderos. El 30 de enero de 1810 el Estado le concedió 12 000 francos a condición de que publicara el procedimiento, y su libro salió ese mismo año. Nunca supo por qué funcionaba su método.

Ese mismo año, Peter Durand obtuvo una patente británica que incluía latas de hojalata, chapa de hierro estañada. Bryan Donkin y John Hall la compraron y abrieron una conservera en 1812, donde cada lata se soldaba a mano. Desde 1813 abastecían al ejército y la armada británicos. En 1981, el equipo de Owen Beattie sugirió que el plomo de latas mal soldadas había debilitado la expedición ártica perdida de John Franklin, que zarpó en 1845; estudios de huesos de 2013 y 2018 mostraron que buena parte de ese plomo se había absorbido antes del viaje y los resultados de 2018 no respaldan que fuera una causa decisiva.

Las primeras latas se abrían con martillo y cincel; el abrelatas llegó décadas más tarde.

Louis Pasteur demostró en las décadas de 1850 y 1860 que microbios vivos causan la fermentación y la descomposición, y en 1865 patentó el calentamiento del vino para que no se estropeara. La pasteurización de la leche se propuso en 1886. La leche transmitía entonces tuberculosis, escarlatina y diarreas infantiles, pero el historiador Peter Atkins observó que en Gran Bretaña el método se difundió despacio y apenas influyó antes de los años veinte; en 1921, cerca de la mitad de la leche de Londres se trataba con calor.

Las conserveras adoptaron autoclaves de vapor a mediados del siglo XIX. En la década de 1890 aparecieron máquinas que cerraban las latas sin soldadura, a principios del siglo XX se extendió la lata «sanitaria» engrapada y, desde hacia 1900, los tiempos se fijaron con criterios bacteriológicos. A partir de los años ochenta, la soldadura eléctrica fue sustituyendo a la costura lateral soldada con estaño.

Cifras clave

Premio de Appert
12 000 francos del Estado francés, el 30 de enero de 1810, a condición de publicar el método

Alimentos poco ácidos
116–121 °C, que solo se alcanzan a presión

Botulismo
Síntomas por lo general 12–36 horas después de comer; mortal en el 5–10 % de los casos

Límite de acidez para el baño María
pH de 4,6 o menos

Pasteurización de la leche
72 °C durante 15 segundos, o 63 °C durante 30 minutos

Fuentes

1. Ensuring Safe Canned Foods · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/ensuring-safe-canned-foods/
2. How to Use Boiling Water and Pressure Canners · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-canners/
3. Recommended Jars and Lids · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-jars-and-lids/
4. Cooling Jars and Testing Jar Seals · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/cooling-jars-and-testing-jar-seals/
5. Selecting the Correct Processing Time · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/selecting-the-correct-processing-time/
6. Sterilization of Empty Jars · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/sterilization-of-empty-jars/
7. Preventing Botulism · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/botulism/prevention.html
8. Home canning safety · Health Canada https://www.canada.ca/en/health-canada/services/general-food-safety-tips/home-canning-safety.html
9. Canning Controversies: No to Home Canning Dairy Products · Clemson Cooperative Extension, Home & Garden Information Center https://hgic.clemson.edu/canning-controversies/
10. Botulism (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/botulism
11. Nicolas Appert · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Nicolas_Appert
12. Nicolas Appert · Encyclopedia.com (World of Invention; Encyclopedia of Food and Culture) https://www.encyclopedia.com/people/food-and-drink/food-and-cooking-biographies/nicolas-appert
13. 30 janvier 1810 : Nicolas Appert, inventeur de la conserve · Hérodote.net https://www.herodote.net/30_janvier_1810-evenement-18100130.php
14. Scientist of the Day: Bryan Donkin · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/bryan-donkin/
15. Food processing: canning (Technology in Australia 1788–1988) · Australian Science and Technology Heritage Centre, University of Melbourne https://austehc.unimelb.edu.au/tia/084.html
16. Louis Pasteur : un héritage universel · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/dossiers/louis-pasteur-heritage-universel
17. White Poison? The Social Consequences of Milk Consumption, 1850–1930 (Atkins, 1992) · Social History of Medicine 5, Durham University https://pjatkins.webspace.durham.ac.uk/wp-content/uploads/sites/201/2022/07/White-Poison-1992.pdf
18. Raw Milk Misconceptions and the Danger of Raw Milk Consumption · U.S. Food and Drug Administration https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/raw-milk-misconceptions-and-danger-raw-milk-consumption
19. Western researchers acquit tins in expedition's fate · Western News, Western University https://news.westernu.ca/2013/04/western-researchers-acquit-tins-in-expeditions-fate/
20. Researchers provide new insights into fate of Franklin Expedition · University of Saskatchewan https://news.usask.ca/articles/research/2018/researchers-provide-new-insights-into-fate-of-franklin-expedition-.php

Datos verificados el 2026-10-14

Bicicleta

Dos ruedas movidas por las piernas

1817 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Rueda y eje (p. 81), Reducción del hierro (p. 136)

1 Manillar 2 Pipa de dirección y horquilla 3 Sillín 4 Biela y plato 5 Cadena 6 Piñón trasero 7 Neumático

La bicicleta es una máquina de dos ruedas que el ciclista mantiene en equilibrio con el manillar y mueve con las piernas, mediante pedales, una cadena y un piñón en la rueda trasera. Nació de la máquina de correr de madera de Karl Drais en 1817 y en 1885 tomó la forma de la bicicleta de seguridad con cadena que, con neumáticos de aire, permite recorrer una distancia con una pequeña parte de la energía que costaría a pie.

Qué es

Una bicicleta lleva a una persona sobre dos ruedas colocadas una detrás de otra. El ciclista va sentado en un sillín, mantiene la máquina derecha girando el manillar y mueve la rueda trasera con las piernas, por medio de pedales, bielas y una cadena. No tiene motor, y el mantenimiento corriente solo pide unas pocas herramientas de mano.

La lámina muestra una bicicleta de seguridad de la década de 1890, la disposición de la que descienden casi todas las bicicletas actuales: dos ruedas del mismo tamaño, un cuadro de tubos de acero en forma de dos triángulos y neumáticos llenos de aire.

Cómo funciona

El equilibrio se logra con la dirección. Cuando la bicicleta empieza a inclinarse, el ciclista gira un poco la rueda delantera hacia el lado de la inclinación y las ruedas vuelven a situarse bajo su peso. A paso de peatón esas correcciones tienen que ser mayores, y por eso una bicicleta lenta se tambalea.

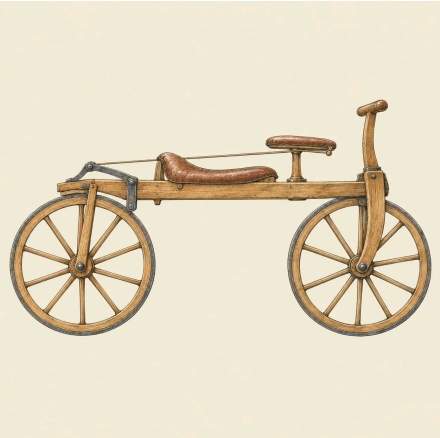
Los pedales hacen girar dos bielas fijadas en sentidos opuestos a un eje que atraviesa la parte baja del cuadro. Un gran plato dentado, unido a la biela derecha, tira de una cadena de rodillos, y la cadena hace girar un piñón pequeño en el buje trasero. Con 44 dientes delante y 18 detrás, cada vuelta de pedales hace girar la rueda unas 2,4 veces, y una rueda de 70 cm de diámetro avanza así unos 5,4 m. Las máquinas anteriores, con los pedales en el buje delantero, no tenían esta multiplicación: para avanzar más en cada pedalada hacía falta una rueda más grande.

Una cadena limpia y engrasada transmite a la rueda casi todo el trabajo de las piernas, hasta un 99 % aproximadamente en ensayos de laboratorio. En llano, por encima de unos 30 km/h, tres cuartas partes o más del esfuerzo se van en apartar el aire. Con el mismo esfuerzo, un ciclista va unas tres veces más deprisa que un caminante, así que una distancia dada le cuesta mucha menos energía: según las estimaciones, entre un tercio y un quinto de la que exige caminarla.

Un neumático cede alrededor de una piedra en vez de levantar toda la máquina por encima. En un camino malo rueda, por tanto, con más suavidad y desperdicia menos esfuerzo que los bandajes de goma maciza que se usaban antes. Unos radios finos de alambre, tensados, mantienen redonda y rígida una llanta ligera de acero.

El neumático de la década de 1890: una cámara inflada dentro de una cubierta de caucho y lona.

Cómo construirla



La máquina de correr de 1817 no tenía pedales: se avanzaba empujando el suelo con un pie y luego con el otro, y se frenaba tirando de un cordón que actuaba sobre la rueda trasera.

La máquina de Drais era obra de un carpintero y un carretero: una viga de fresno, dos ruedas de madera con aros de hierro, una horquilla delantera que giraba sobre un perno de hierro, un sillín acolchado, una tabla para los antebrazos y un freno trasero accionado con un cordón. Para probar hoy esa forma de rodar, lo más seguro es convertir una bicicleta pequeña en buen estado en una bicicleta sin pedales: el cuadro, las ruedas y los frenos siguen siendo los suyos.

Elegir la bicicleta. Debe ser lo bastante pequeña para que el ciclista, con el sillín lo más bajo posible, apoye los dos pies planos en el suelo con las rodillas algo dobladas, y debe tener dos frenos de mano, delantero y trasero: un freno de contrapedal deja de funcionar en cuanto se quita la cadena. Compruebe que el cuadro no tiene grietas, que las ruedas giran rectas y que los dos frenos funcionan.

Quitar la transmisión. Desmonte los dos pedales con una llave de pedales; el izquierdo tiene la rosca invertida y se afloja en el sentido de las agujas del reloj. Para quitar la cadena, abra su eslabón rápido o saque un pasador con un tronchacadenas, o pídalo en un taller de bicicletas. Si tiene un extractor de bielas, retire también las bielas y el plato, para que nada pueda engancharse en las piernas.

Ajustar el sillín. Baje el sillín hasta que los dos pies queden planos, con la marca de inserción mínima de la tija siempre oculta dentro del cuadro, y apriete bien la abrazadera.

Probar los frenos. Apriete cada maneta mientras empuja la bicicleta hacia delante: la rueda debe detenerse. Si no, ajuste el freno o hágalo ajustar en un taller de bicicletas antes de que nadie la use.

Aprender a deslizarse. En un camino llano y tranquilo, camine primero a horcajadas; después impúlsese con un pie y luego con el otro, levante ambos para pequeños deslizamientos y frene para detenerse.

> **Seguridad.** Use casco y circule lejos del tráfico. Antes de cada salida revise los frenos, las tuercas de las ruedas o los cierres rápidos y la abrazadera del sillín. Mantenga los dedos lejos de los radios en movimiento y de los dientes del plato si sigue montado, y no baje ninguna cuesta hasta saber detenerse con seguridad.

Historia y evolución

Karl Drais, funcionario de la administración forestal de Baden, salió de Mannheim en su Laufmaschine el 12 de junio de 1817. Los relatos de aquel paseo hablan de 13 a 15 km en una hora aproximadamente; un recorrido cronometrado de 12,5 km dio una media de más de 12 km/h, más del doble del paso de un caminante. La máquina se vendió en Francia desde 1818 con el nombre de vélocipède y se copió en Gran Bretaña como hobby horse. Un ejemplar conservado pesa 23 kg; las máquinas que se conservan tienen un freno trasero accionado con un cordón. Los caminos eran malos, y pasó de moda en pocos años.

En la década de 1860 se fijaron bielas y pedales a la rueda delantera en París. Todavía se discute si la idea fue del carrocero Pierre Lallement o del taller de Pierre Michaux. Lallement la llevó a Estados Unidos, donde obtuvo una patente el 20 de noviembre de 1866; las máquinas de Michaux desataron en Francia la primera fiebre del velocípedo a finales de la década. Sus ruedas de madera con aro de hierro les valieron en inglés el apodo de boneshakers, «sacudehuesos». En la década de 1870 los radios de alambre y los bandajes de goma maciza aligeraron las ruedas, y la delantera creció tanto como permitían las piernas del ciclista. Estos biciclos eran rápidos, pero ante un obstáculo el ciclista podía salir despedido de cabeza por encima del manillar.

En el biciclo de la década de 1870, los pedales movían directamente la rueda delantera, así que la velocidad dependía de su tamaño.

La bicicleta de seguridad resolvió el problema: el ciclista va bajo, entre dos ruedas pequeñas, y una cadena mueve la trasera. En 1885 John Kemp Starley construyó la Rover en Coventry; el ejemplar que se conserva en Londres pesa 16,8 kg y aún lleva bandajes macizos. En 1887 o 1888 (las fuentes difieren) John Boyd Dunlop, veterinario en Belfast, hizo neumáticos de aire para el triciclo de su hijo y los patentó el 7 de diciembre de 1888. La patente fue anulada más tarde, porque Robert William Thomson había patentado la misma idea en la década de 1840, pero los neumáticos de Dunlop empezaron a fabricarse en Belfast a finales de 1890. En pocos años, el cuadro de diamante y el neumático se convirtieron en norma, y la bicicleta de seguridad la montaban tanto mujeres como hombres. La rueda libre, los cambios y mejores frenos llegaron después sin alterar la disposición.

Cifras clave

Primer paseo en máquina de correr

12 de junio de 1817, desde Mannheim: 13 a 15 km en una hora aproximadamente (los relatos difieren)

Patente del neumático de Dunlop

7 de diciembre de 1888 (anulada después: R. W. Thomson había patentado la idea en la década de 1840)

Rendimiento de la cadena

Hasta un 99 % aproximadamente con una cadena limpia y engrasada

Bicicleta de seguridad Rover

1885, Coventry; 16,8 kg, transmisión por cadena, bandajes de goma maciza

Energía frente a caminar

Entre un tercio y un quinto para la misma distancia (las estimaciones varían)

Fuentes

1. Draisienne · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/draisienne/
2. Rover 'Safety' Bicycle, 1885 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co25833/rover-safety-bicycle-1885
3. J. B. Dunlop · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/J._B._Dunlop
4. Pierre Lallement and the Modern-Day Pedal Bicycle · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/pierre-lallement-and-the-modern-day-pedal-bicycle-today-in-history-november-20
5. Bicycle performance · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_performance
6. Laufmaschine (draisine) by Karl Drais · Klassik Stiftung Weimar https://www.klassik-stiftung.de/startseite/digital/sammlungshighlights/laufmaschine/
7. Gain Ratios · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gain.html
8. Glossary: Chain · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gloss_ch.html
9. H. Renold · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/H._Renold
10. Roller chain sprocket diameters · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hardware/roller_chain_sprocket_diameters_13887.htm

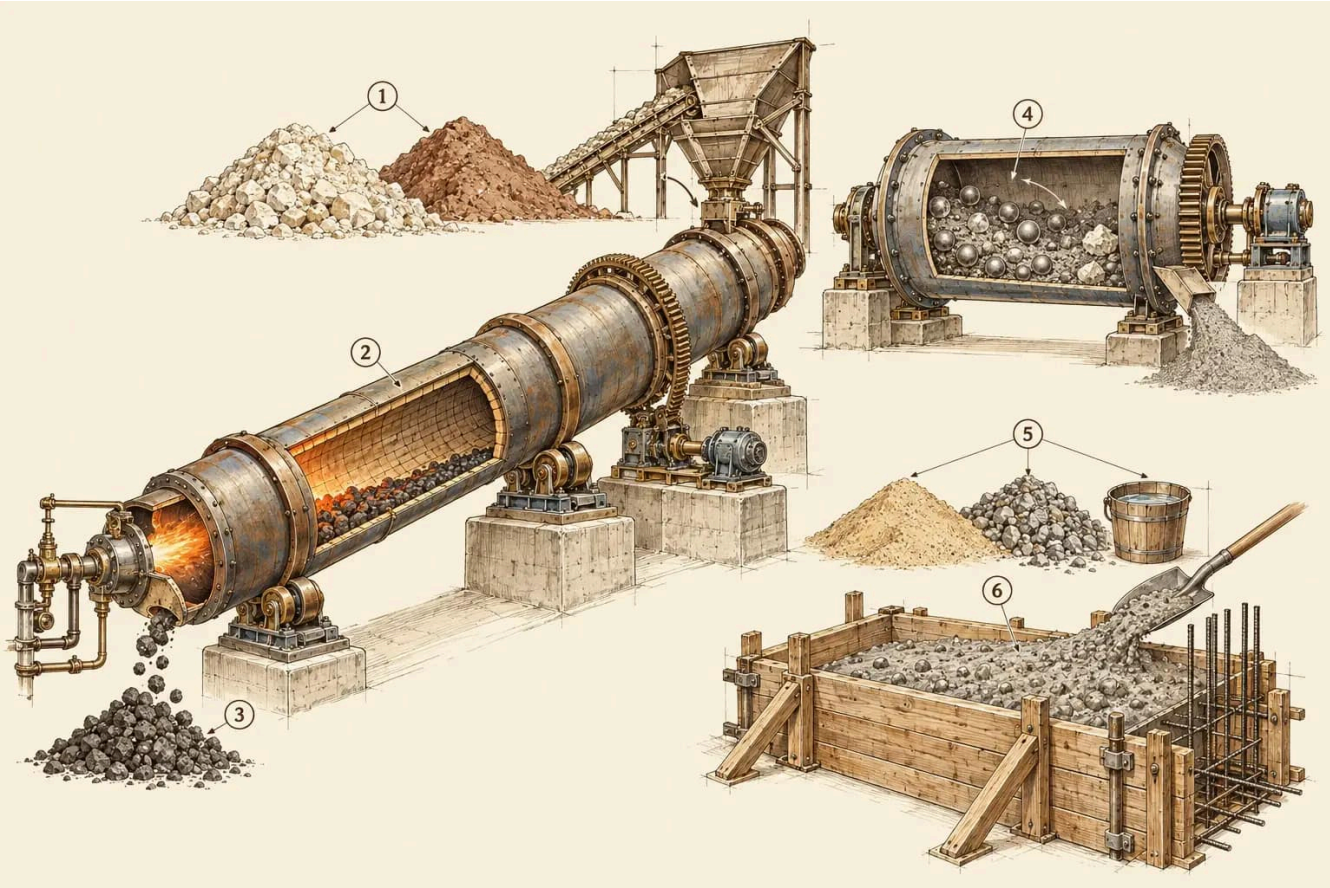
Datos verificados el 2026-10-12

Cemento Portland

El aglomerante que fragua bajo el agua

1824 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Cal y mortero de cal (p. 31), Hormigón romano (p. 165), Medidas y patrones (p. 127)
Conduce a: Hormigón armado (p. 308)



1 Caliza y arcilla trituradas 2 Horno rotatorio, llama en el extremo bajo 3 Nódulos de clínker 4 Molino: clínker con un poco de yeso 5 Arena, grava y agua para la mezcla 6 Encofrado de madera con hormigón fresco

El cemento Portland es caliza y arcilla cocidas juntas a unos 1450 °C hasta formar nódulos duros, el clínker, que luego se muelen con un poco de yeso. Con agua endurece por una reacción química, incluso sumergido, y unido a arena y grava da el hormigón, el material de construcción más usado del mundo.

Qué es

El cemento Portland es un polvo gris: caliza y arcilla cocidas hasta fundirse en parte en terrones duros, el clínker, que después se muele con un poco de yeso. Con agua forma una pasta que se endurece en pocas horas y sigue ganando dureza durante semanas.

Es un aglomerante hidráulico: endurece al reaccionar con el agua, tanto en una zanja húmeda como bajo el mar. El mortero de cal aérea, en cambio, endurece despacio por carbonatación, en contacto con el aire. El hormigón romano resistía el agua gracias a la puzolana, una ceniza volcánica cuya sílice reacciona con la cal apagada. En el

cemento Portland, la cal y la sílice de la arcilla ya se han combinado en el horno: el polvo solo necesita agua, y llega a ser mucho más resistente.

Mezclado con arena y grava da el hormigón: estos áridos ocupan la mayor parte del volumen y el cemento los pega entre sí.

Cómo funciona

La cocción. El crudo suele llevar unas cuatro quintas partes de caliza, con arcilla o pizarra que aportan sílice, alúmina y óxido de hierro. En el horno, la caliza pierde su dióxido de carbono y se convierte en cal viva, que luego se combina con los minerales de la arcilla. Hacia los 1450 °C, parte de la carga se funde y el resto se sinteriza en nódulos oscuros. Un clínker típico contiene alrededor de un 55 % de alita y un 20 % de belita, dos silicatos de calcio; la alita solo se forma con una cocción intensa, por encima de unos 1300 °C. Después el clínker se enfría rápidamente.

El clínker al salir del horno; molido con un poco de yeso, se convierte en cemento.

La molienda. El clínker se muele muy fino con alrededor de un 5 % de yeso, que impide que su aluminato endurezca la pasta a los pocos minutos de amasarla.

El fraguado. En el agua, la alita y la belita forman silicatos de calcio hidratados, un gel poco cristalino que crece desde cada grano y los une entre sí, liberando hidróxido de calcio y calor. La alita da la resistencia de los primeros días; la belita, la que llega después de la primera semana.

Agua y resistencia. El agua sobrante deja poros, y los poros debilitan el hormigón. En 1918, Duff Abrams, en el Lewis Institute de Chicago, demostró que la resistencia depende sobre todo de la relación entre agua y cemento; la mayoría de las mezclas está entre 0,4 y 0,6 en masa. Un hormigón que se seca pronto deja de reaccionar; en algunos ensayos solo alcanzó la mitad, más o menos, de la resistencia de uno mantenido húmedo.

Cómo construirlo

El clínker exige un horno industrial, pero el cemento en saco, dentro de su fecha de caducidad, puede amasarse a mano sobre un tablero para la zapata de un poste o una pequeña losa de jardín. Todo lo que sostenga un edificio o un vehículo necesita el proyecto de un ingeniero.

El encofrado. Para una losa, excave hasta suelo firme, compacte una capa de grava gruesa y coloque tablas de canto alrededor, sujetas por fuera con estacas, con el borde superior nivelado y la cara interior aceitada. Para una zapata, el propio hoyo sirve de molde.

Mezclar en seco y añadir poca agua. Una regla habitual es un cubo de cemento por dos de arena para hormigón y tres de grava lavada de hasta 20 mm. Remueva el montón seco hasta que tenga un gris uniforme, vierta agua en un cráter y eche dentro con la pala la mezcla seca de los bordes, poco a poco. Una relación de 0,5 equivale a unos 12,5 litros por saco de 25 kg, contando el agua que ya trae la arena húmeda. Pare cuando la mezcla esté húmeda por igual y lo bastante blanda para llenar el encofrado y compactarse, sin dejar de mantener su forma en la pala: el agua de más la hace más fácil de colocar, pero deja el hormigón endurecido más débil.

Verter, compactar y mantener húmedo. Llene el encofrado por capas, picando cada una con una varilla y golpeando las tablas para sacar el aire; enrase la superficie con un listón. Proteja el hormigón fresco del sol y del

El agua va a un cráter abierto en la mezcla seca, que se vuelca desde los bordes.

viento mientras trabaja. Cuando la superficie ya no se marque, manténgala húmeda bajo un plástico o una arpillera mojada durante al menos 7 días, más si hace fresco, y protéjala de las heladas.

Probar un cubo. Llene con la misma amasada uno o dos moldes aceitados de 10 cm de lado interior, en dos capas picadas con varilla, y cúrelos bajo la misma arpillera húmeda que la losa. Un laboratorio de ensayos rompe estos cubos en una prensa a los 7 y a los 28 días e indica su resistencia: así se controla el hormigón en obra. Romper un cubo con una maceta dice poco y lanza esquirlas y polvo.

> **Seguridad.** El cemento fresco es muy alcalino. Atrapado contra la piel dentro de un guante o una bota, puede causar quemaduras químicas graves. Use guantes impermeables, manga larga, el pantalón por encima de las botas y gafas de protección. Lave enseguida la piel manchada; si entra en los ojos, enjuáguelos con abundante agua limpia durante al menos 15 minutos y busque atención médica. El polvo irrita los pulmones: vacíe los sacos al aire libre, de espaldas al viento y con mascarilla FFP3. Cortar hormigón endurecido levanta polvo de sílice: use una sierra con aporte de agua y una mascarilla FFP3 con ajuste comprobado. Un saco pesa 25 kg: levántelo doblando las rodillas, o entre dos.

Historia y evolución

La torre de Smeaton en Eddystone, 1759: piedras de cola de milano en un mortero que fragua en agua de mar.

En 1756, el ingeniero inglés John Smeaton, encargado de reconstruir el faro de Eddystone frente a Plymouth, probó cales para dar con un mortero que fraguara entre dos mareas. Las mejores procedían de caliza con arcilla; levantó la torre con cal hidráulica y puzolana. En Francia, en 1817-1818, Louis Vicat mostró cómo la arcilla permite a la cal fraguar bajo el agua y fabricó una cal hidráulica artificial con creta y arcilla, para un puente en Souillac.

El 21 de octubre de 1824, Joseph Aspdin, albañil de Leeds, patentó una piedra artificial «que llamo cemento Portland», por la piedra clara de Portland, en Dorset. Su producto probablemente estaba demasiado poco cocido para contar hoy como cemento Portland. En la década de 1840, su hijo William e Isaac Charles Johnson, ambos cerca de Londres, cocieron la mezcla hasta el clínker, que los fabricantes anteriores desechaban por recocido; los dos se atribuyeron el hallazgo. Esta lámina conserva 1824, el año del nombre.

Frederick Ransome patentó un horno rotatorio en 1885. Sus ensayos en Inglaterra fracasaron, pero en 1890 uno de este tipo, alimentado con petróleo, funcionaba en Pensilvania, y estos hornos pronto sustituyeron a los fijos.

En 2018, según Chatham House, el mundo producía más de 4000 millones de toneladas de cemento al año, y esa fabricación emitía cerca del 8 % del CO_2 mundial. Más de la mitad salía de la propia caliza, que libera su dióxido de carbono en el horno. Los fabricantes sustituyen parte del clínker por escoria, cenizas volantes, arcilla calcinada o caliza para reducir esa parte.

Cifras clave

Temperatura del horno
Unos 1450 °C

Dosificación habitual a mano
1 parte de cemento, 2 de arena y 3 de grava en volumen

Producción mundial
Más de 4000 millones de toneladas al año, cerca del 8 % de las emisiones mundiales de CO_2 (2018)

Yeso
Alrededor del 5 %, molido con el clínker

Relación agua/cemento
Normalmente de 0,4 a 0,6 en masa

Fuentes

1. About cement · Cement Kilns (D. Moore), history of the British cement industry https://www.cementkilns.co.uk/cement.html
2. Aspdin's 1824 patent · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/cemkilndoc008.html
3. Early rotary kilns · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/early_rotary_kilns.html
4. Hard-Headed Man (M. Rinde, 2015) · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/hard-headed-man/
5. Aberthaw Lime and Cement Works, Rhoose (listing record 83144) · Cadw, via British Listed Buildings https://britishlistedbuildings.co.uk/300083144-aberthaw-lime-and-cement-works-rhoose
6. Louis Vicat · École polytechnique https://225.polytechnique.fr/en/225-stories/louis-vicat.html
7. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
8. Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018 (R. M. Andrew, 2019) · Earth System Science Data https://essd.copernicus.org/articles/11/1675/2019/
9. Composition of cement · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/composition%20of%20cement.htm
10. Curing concrete: normal, hot and cold weather · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/curing.html
11. Water-cement ratio of concrete · Gilson Company https://www.globalgilson.com/blog/water-cement-ratio-of-concrete
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm
14. Cutting paving blocks, kerbs and flags · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cutting-paving-blocks-kerbs-and-flags.htm
15. Cement hydration · MC-Bauchemie, MCpedia https://www.mc-bauchemie.com/mcpedia/cement-hydration

Datos verificados el 2026-10-14

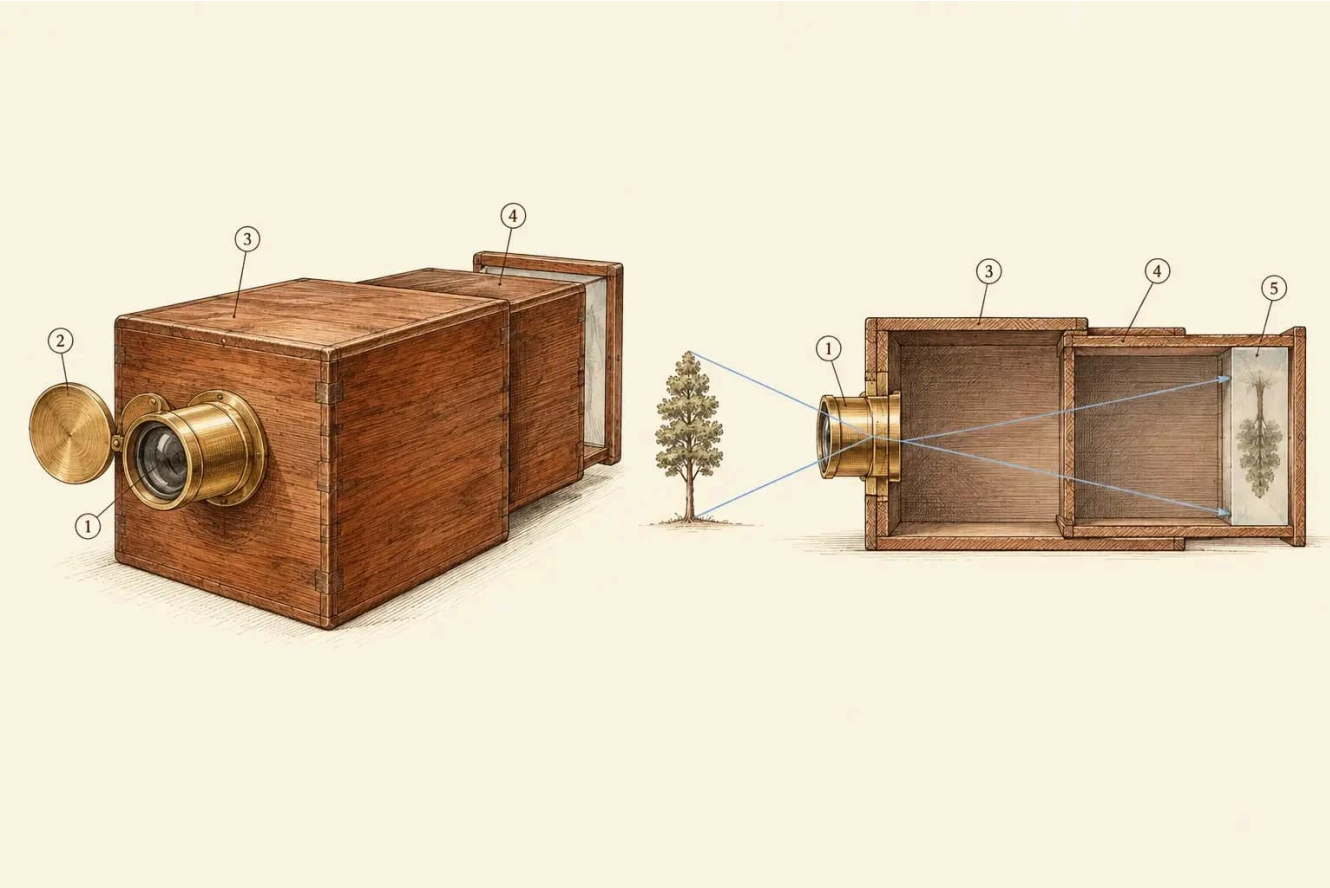
Fotografía

Luz que deja una huella

h. 1827 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Vidrio (p. 132)

Conduce a: Radiografía (p. 348)



1 Objetivo en su tubo de latón 2 Tapa giratoria de latón 3 Caja delantera 4 Caja trasera deslizante 5 Vidrio esmerilado de enfoque

La fotografía fija la imagen que forma una lente sobre una superficie que la luz altera químicamente. Nicéphore Niépce hizo en 1826 o 1827 la fotografía de cámara más antigua que se conserva, y el daguerrotipo, hecho público en París en 1839, fue el primer procedimiento vendido al público, con cámaras y placas a la venta en pocas semanas.

Qué es

La fotografía registra una imagen hecha de luz. Un objetivo proyecta una pequeña imagen de la escena sobre una superficie cubierta de una sustancia que la luz altera; tras el tratamiento, las luces y las sombras de la escena quedan fijadas en ella para siempre. La palabra significa «escribir con luz», y los pioneros hablaban de imágenes que se dibujaban solas.

La cámara de la lámina es la que Alphonse Giroux empezó a vender en París en 1839 según el diseño de Louis Daguerre, la primera fabricada en serie para el público. Son dos cajas de madera, una que se desliza dentro de la

otra. La delantera lleva un objetivo simple en un tubo de latón, con una tapa redonda de latón que gira hacia un lado para empezar la exposición. Detrás, un vidrio esmerilado muestra la imagen para enfocar; luego se sustituye por un chasis con la placa sensible.

Cómo funciona

La luz de cada punto de la escena atraviesa el objetivo y se concentra en un punto del fondo de la cámara. El resultado es una copia pequeña, nítida e invertida de la escena, la misma imagen que mostraba la cámara oscura desde el Renacimiento. Al meter o sacar la caja trasera hasta que la imagen se vea nítida en el vidrio esmerilado, se enfoca.

Los dibujantes usaban cámaras oscuras portátiles como esta mucho antes de la fotografía; un espejo envía la imagen hacia un vidrio donde se puede calcar.

La fotografía necesitaba un modo de conservar esa imagen. Algunos compuestos de plata se oscurecen con la luz y algunas resinas se endurecen con ella. Niépce cubría una placa de peltre con betún de Judea disuelto en esencia de lavanda. Donde daba la luz, el betún se endurecía; después un disolvente eliminaba las partes que seguían blandas y quedaba una imagen de betún sobre el metal desnudo.

El daguerrotipo usaba plata. Una placa de cobre plateada y pulida se sensibilizaba con vapor de yodo, se exponía varios minutos en la cámara, se revelaba sobre mercurio caliente, que se depositaba en las partes tocadas por la luz, y se fijaba con agua salada o con «hipo». El resultado era un positivo de aspecto de espejo, único y muy detallado. El calotipo de Talbot funcionaba de otro modo: daba un negativo en papel del que se podían sacar por contacto tantas copias positivas como se quisiera, el principio de la mayor parte de la fotografía en película que vino después.

Cómo construirla

Dos proyectos sencillos muestran en casa las dos mitades de la fotografía: una cámara estenopeica forma la imagen y el papel de cianotipia registra químicamente la luz. No intente un daguerrotipo fuera de un laboratorio profesional con campana de extracción y supervisión de personas formadas: emplea mercurio caliente y yodo, ambos tóxicos.

Hacer la cámara. Tome una caja estanca a la luz, por ejemplo una caja de zapatos, y pinte el interior de negro mate. Corte un agujero de unos 2 cm en el centro de uno de los extremos y tápelo con un trozo de papel de aluminio fino perforado con una aguja; un agujero de unos 0,3 mm conviene a una caja de 10 a 15 cm de fondo. Cubra el estenopo con una solapa de cartulina negra que pueda subir y bajar: es el obturador.

Ver la imagen. Abra una ventana en el extremo opuesto y cúbrala con papel vegetal. Ante una escena luminosa, con la cabeza y la caja bajo un paño oscuro, verá la imagen invertida en el papel, igual que en una cámara oscura.

Hacer una cianotipia. El papel ya emulsionado que se vende como «papel solar», usado según las instrucciones del fabricante, es lo más sencillo. La cianotipia, publicada por John Herschel en 1842, usa sales de hierro que se vuelven azul de Prusia con la luz ultravioleta. Ponga una hoja o una fronda de helecho sobre el papel, al sol y bajo un vidrio, durante unos minutos, y después enjuague el papel con agua y déjelo secar.

Ir más lejos. La cianotipia es demasiado lenta para fotografiar a través del estenopo: la exposición duraría semanas. Para fotografiar con la propia caja, sustituya el papel vegetal por un fondo estanco a la luz, selle los bordes con cinta negra y cargue en el cuarto oscuro papel fotográfico o película en blanco y negro. Luego se

Un fotograma en cianotipia: donde el helecho tapaba la luz, el papel quedó blanco.

revela y se fija con los productos habituales de laboratorio, con guantes, buena ventilación y según indiquen las etiquetas.

> **Seguridad.** Los productos de cianotipia y los baños de laboratorio irritan la piel, los ojos y las vías respiratorias: use guantes y gafas de protección, manténgalos lejos de alimentos, niños y animales, y deséchelos según las etiquetas. Si prepara usted la solución de cianotipia, no caliente nunca el ferricianuro potásico ni lo mezcle con ácidos. No mire al Sol a través del estenopo ni de ninguna otra cosa. Los procedimientos antiguos con mercurio, cianuro o éter son solo para un laboratorio profesional con extracción de humos.

Historia y evolución

La cámara oscura se conocía mucho antes de la fotografía, y en el siglo XVIII los dibujantes llevaban cajas portátiles para calcar paisajes. Los químicos sabían que las sales de plata se oscurecen con la luz, pero nadie lograba detener ese oscurecimiento. En su finca de Saint-Loup-de-Varennes, en Borgoña, Nicéphore Niépce obtuvo en 1816 imágenes fugaces con la cámara y, en 1826 o 1827, la vista desde la ventana de su taller, hoy la fotografía de cámara más antigua que se conserva, en el Harry Ransom Center de Austin. Su exposición suele estimarse en varios días, aunque algunos relatos hablan de unas ocho horas.

Niépce se asoció con Louis Daguerre en 1829 y murió en 1833. Daguerre siguió adelante, y el 19 de agosto de 1839 su procedimiento se explicó con detalle ante una sesión conjunta de la Académie des sciences y la Académie des beaux-arts; el Estado francés lo había comprado y dejó su uso libre para todos, salvo en Inglaterra y Gales, donde se patentó. En Inglaterra, Henry Talbot llevaba varios años haciendo imágenes en papel y anunció su primer procedimiento ese mismo año; en 1840 ideó el negativo de calotipo, que presentó en 1841.

Un daguerrotipo era una única placa plateada, guardada bajo vidrio en un pequeño estuche con bisagra.

Desde 1851, el colodión húmedo de Frederick Scott Archer llevó los negativos al vidrio, más nítidos que el papel y mucho más rápidos que el daguerrotipo, aunque la placa debía emulsionarse, exponerse y revelarse en pocos minutos. En la década de 1880 las fábricas vendían placas secas listas para usar: George Eastman empezó a fabricarlas para la venta en 1880 y en 1888 vendió la primera Kodak, una caja cargada con película para cien fotografías que se devolvía entera a la fábrica para revelarla. La película en color se extendió en el siglo XX, y a finales de ese siglo los sensores electrónicos empezaron a sustituir a la química; delante de ellos, un objetivo sigue formando la imagen como en la caja de Giroux.

Cifras clave

Fotografía de cámara más antigua conservada

Niépce, Saint-Loup-de-Varennes, 1826 o 1827; placa de peltre de 16,7 × 20,3 cm

Daguerrotipo hecho público

19 de agosto de 1839, Académie des sciences, París

Primera Kodak

1888, cargada con película para 100 fotografías

Su exposición

Probablemente varios días al sol (algunos relatos hablan de unas 8 horas)

Negativo en papel (calotipo)

Ideado por Henry Talbot en 1840, presentado en 1841

Fuentes

1. The Niépce Heliograph · Harry Ransom Center, University of Texas at Austin https://www.hrc.utexas.edu/niepce-heliograph/
2. Daguerre introduced photography 175 years ago · George Eastman Museum https://www.eastman.org/blog/daguerre-introduced-photography-175-years-ago
3. Giroux Daguerreotype camera · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1427511/giroux-daguerreotype-camera-camera-daguerre-louis/
4. Hill & Adamson: salted paper prints and the calotype · University of Glasgow Archives & Special Collections https://www.gla.ac.uk/myglasgow/archivespecialcollections/discover/specialcollectionsa-z/hilladamson/saltedpaperprints
5. Collodion glass negatives and the attendant photographic process · Bibliothèque nationale de France https://expositions.bnf.fr/les-nadar/en/the-nadars/collodion-glass-negatives.html
6. Album of cyanotypes of British and Foreign Ferns (Anna Atkins) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co416960
7. Kodak and the Eastman company · Duke University Libraries https://library.duke.edu/rubenstein/scriptorium/eaa/kodak.html
8. Richard Beard (daguerreotype patent in England and Wales) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp40983/richard-beard
9. Historique et description des procédés du daguerréotype et du diorama (Daguerre, 1839) · Internet Archive https://archive.org/details/bub_gb_Ae4TAAAAQAAJ
10. History and practice of photogenic drawing on the true principles of the Daguerréotype (McLean, 1839) · Wellcome Collection, via Internet Archive https://archive.org/details/b29310301
11. Replica of Daguerre-Giroux camera · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8189231/replica-of-daguerre-giroux-camera
12. From Daguerreotype to Digital: the daguerreotype process · The Historic New Orleans Collection https://hnoc.org/virtual-exhibitions/from_daguerreotype_to_digital/daguerreotype-process

Datos verificados el 2026-10-12

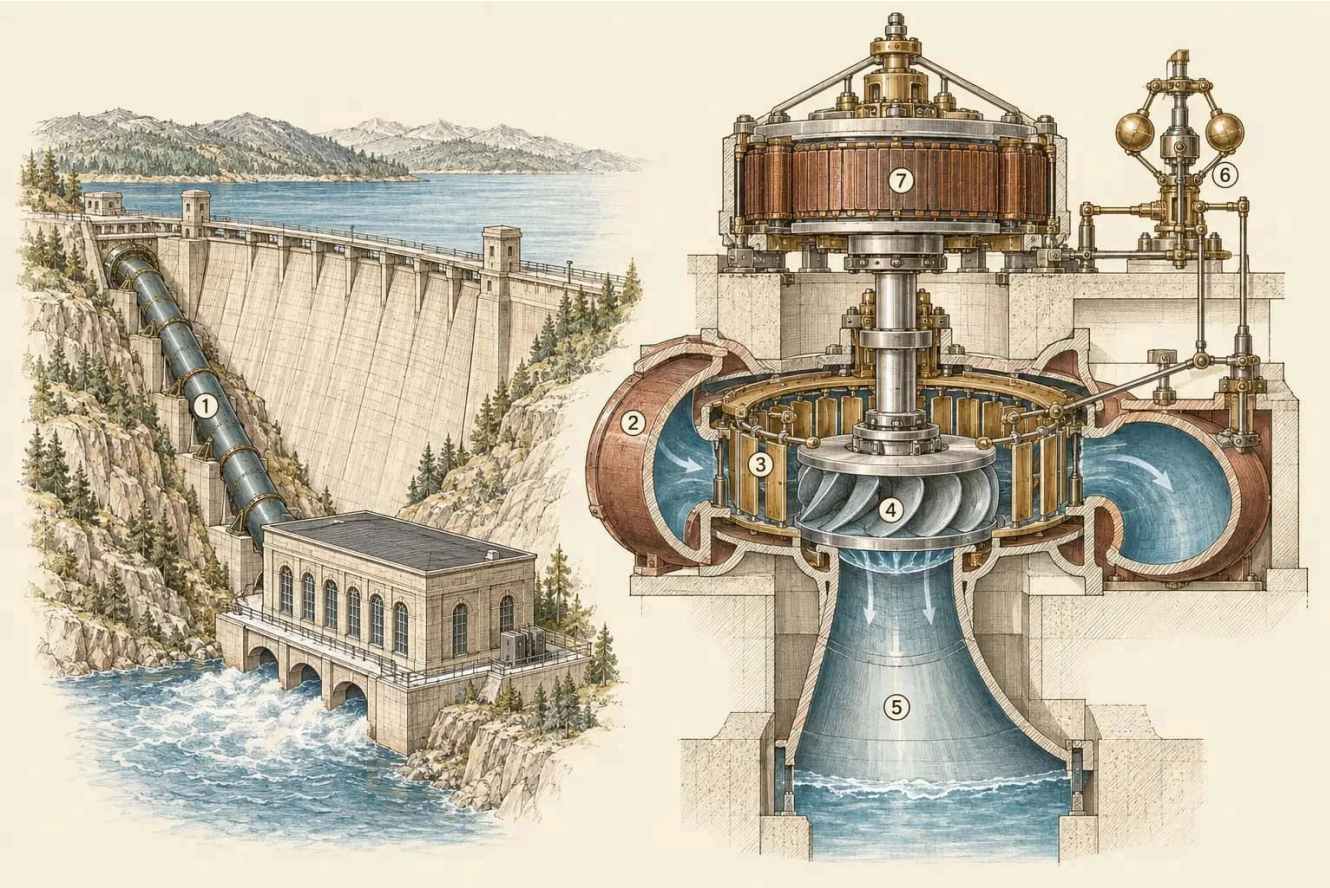
Turbina hidráulica

El salto de agua convertido en electricidad

1827 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Rueda hidráulica (p. 157), Acero (p. 140), Generador eléctrico (p. 273)

Conduce a: Aluminio (p. 335)



1 Tubería forzada 2 Caracol 3 Álabes directrices 4 Rodete 5 Tubo de aspiración 6 Regulador 7 Generador

Una turbina hidráulica es un rodete de álabes que el agua a presión hace girar muy deprisa, dentro de una carcasa cerrada o bajo un chorro. Como la rueda hidráulica, aprovecha la energía de un salto de agua, pero en una máquina mucho más pequeña y rápida, y desde la década de 1880 mueve los generadores de las centrales hidroeléctricas.

Qué es

Una turbina hidráulica es una rueda de álabes curvos, el rodete, que el agua a presión hace girar a gran velocidad. Como la rueda hidráulica, saca su energía del agua que cae desde cierta altura. Pero una rueda de alimentación superior gira al aire libre bajo el peso del agua de sus cangilones, y una rueda de alimentación inferior por el empuje de la corriente, a pocas vueltas por minuto. La turbina recibe el agua por una tubería y gira decenas o cientos de veces más rápido, de modo que una máquina mucho más pequeña da la misma potencia.

Su velocidad le permite mover un generador eléctrico con pocos engranajes o ninguno. Casi todas las centrales hidroeléctricas usan uno de tres diseños: la rueda Pelton, la turbina Francis o la turbina Kaplan.

Cómo funciona

En una turbina de acción, un inyector convierte toda la presión en un chorro rápido y el rodete gira en el aire. En una turbina de reacción, el rodete está cerrado y lleno de agua; la presión baja entre sus álabes, que trabajan como alas curvas.

La rueda Pelton es una turbina de acción para saltos altos y caudales pequeños. Una arista divide cada cuchara, parte el chorro y devuelve cada mitad casi en sentido contrario. La turbina Francis, de reacción y la más extendida, cubre los saltos medios, de unos 40 a 600 metros. La turbina Kaplan, una hélice cuyas palas giran sobre el cubo, sirve para saltos bajos y grandes caudales, por debajo de unos 80 metros.

La arista de cada cuchara corta el chorro en dos y devuelve las dos mitades hacia atrás.

La lámina muestra un grupo Francis. El agua baja por la tubería forzada (1) hasta el caracol (2), que se estrecha al enrollarse alrededor de la máquina para que el agua entre por igual desde todos lados. Los álabes directrices (3) la ponen a girar y regulan el caudal. Atraviesa el rodete (4) de fuera hacia dentro y sale hacia abajo por el tubo de aspiración (5), un conducto que se ensancha, la frena poco a poco y recupera parte de la energía que le queda.

La potencia disponible es $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$: densidad del agua ρ (unos 1000 kg/m^3), gravedad g (9,81 m/s^2), caudal Q en m^3/s, salto neto H en metros y rendimiento η. Con 100 metros de salto, 0,2 m^3/s y un 85 % para turbina y generador juntos, $P = 1000 \times 9{,}81 \times 0{,}2 \times 100 \times 0{,}85 \approx 167$ kW. Una gran turbina Francis supera por sí sola el 90 %.

El generador (7) va en el mismo eje, y su frecuencia sigue a su velocidad. El regulador (6) la mantiene cerrando los álabes directrices cuando el eje se acelera y abriéndolos cuando se frena. Debe actuar de forma gradual: cerrar de golpe una tubería larga provoca un golpe de ariete, una sobrepresión capaz de reventarla. A 100 vueltas por minuto, un generador necesita 60 polos para dar 50 hercios.

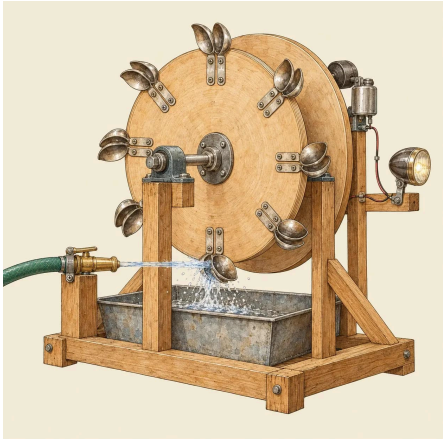
Cómo se construye

Una rueda de cucharas alimentada con una manguera de jardín desde un arroyo puede encender una lámpara de bicicleta. Pida antes permiso al propietario y a la administración del agua: en la mayoría de los países, tomar agua de un cauce exige autorización.

Medir el salto. Tienda una manguera desde la toma hasta donde irá la rueda, mantenga su extremo superior bajo el agua y déjela correr hasta que no salga más aire. Cierre entonces el extremo inferior con un manómetro: cada bar de presión estática equivale a unos 10,2 metros de salto. Un nivel de obra y una mira, trasladados aguas abajo de una marca a la siguiente, sirven de comprobación.

Medir el caudal. Si es un hilo de agua de menos de unos 5 litros por segundo, hágalo pasar por un tubo en una pequeña presa de tierra y cronometre cuánto tarda en llenar un cubo. En un arroyo mayor, cronometre un flotador a lo largo de 10 metros, multiplique su velocidad por 0,85 aproximadamente y luego por el ancho y la profundidad media.

Calcular la potencia. Con 8 metros de salto y 0,3 litros por segundo en la manguera, el agua lleva $P = 1000 \times 9{,}81 \times 0{,}0003 \times 8 \approx 24$ W. La manguera y la boquilla pierden parte del salto, y una rueda y una dinamo caseras solo convierten en electricidad una parte modesta del resto. Cuente con unos pocos vatios, quizá suficientes para una dinamo de bicicleta de 3 vatios, y mida lo que obtiene de verdad. Deje la mayor parte del arroyo a los peces.



Dos cucharas juntas forman una cuchara partida rudimentaria.

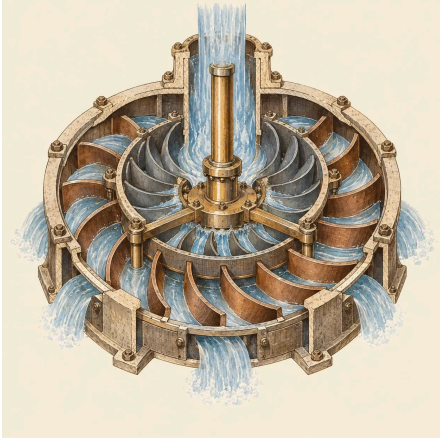
Hacer el rodete. Fije un disco de contrachapado de unos 30 cm de diámetro en un eje de acero que gire sobre dos cojinetes. Atornille en su borde de ocho a diez pares de cucharas soperas, una junto a otra, con los cuencos asomando por el borde, vueltos hacia el chorro y unidos en una arista.

Orientar el chorro. Ponga una boquilla de chorro en la manguera y sujétela para que el chorro golpee las aristas de forma tangencial. Sin pérdidas saldría a 12,5 m/s; con el rozamiento de la manguera, es más probable que salga a unos 10 m/s. Las cucharas rinden mejor a la mitad de la velocidad del chorro, medida en el círculo donde este las golpea: unas 270 vueltas por minuto si ese círculo mide 35 cm de diámetro.

Añadir la dinamo. Monte en el eje un segundo disco liso de unos 35 cm y apoye contra su borde el rodillo de una dinamo de botella. A 270 vueltas por minuto, ese borde se mueve como el neumático de una bicicleta a unos 18 km/h. Únala a una lámpara de bicicleta con dos cables aislados: en la bicicleta el cuadro sirve de retorno a la corriente; aquí hace falta un cable. Devuelva el agua al arroyo por debajo de la rueda.

> **Seguridad.** No trabaje nunca solo junto a un arroyo ni entre en él cuando baje crecido: el agua rápida y fría derriba y ahoga. Una manguera que baja 8 metros ya soporta casi un bar. Abra y cierre despacio las tuberías largas, porque un cierre brusco provoca un golpe de ariete que revienta los empalmes. Mantenga los ojos y los dedos fuera del chorro, proteja el rodete con una tapa y corte el agua antes de tocarlo. Aísle todas las conexiones y mantenga los dedos lejos también del rodillo de la dinamo. Los generadores mayores alcanzan tensiones peligrosas: no conecte nunca uno a la instalación eléctrica de un edificio.

Historia y evolución



En la turbina de Fourneyron el agua sale hacia fuera, de las directrices fijas a la corona móvil.

En 1825, Claude Burdin, profesor de la Escuela de Minas de Saint-Étienne, construyó en Pontgibaud una turbina con un rendimiento del 67 %. Su antiguo alumno Benoît Fourneyron la convirtió en una máquina industrial: en abril de 1827, en la forja de Pont-sur-l'Ognon, instaló una turbina de seis caballos con un salto de 1,40 metros.

En 1849, en Lowell (Massachusetts), James B. Francis construyó una turbina mejorada de flujo hacia el centro y publicó sus ensayos en 1855. En las zonas auríferas de California, Lester Pelton hizo su primera rueda en 1878 y patentó la cuchara partida en 1880.

En 1878, Lord Armstrong iluminó su casa de Cragside, en Northumberland, con lámparas de arco alimentadas por el agua de los lagos de la finca. En Appleton (Wisconsin), una central suministró corriente continua desde el 30 de septiembre de 1882. En 1895, la central Adams de las cataratas del Niágara puso en marcha generadores Westinghouse de 5000 caballos, con corriente alterna según el sistema de Nikola Tesla; desde noviembre de 1896 su electricidad llegó a Búfalo. Viktor Kaplan registró en 1913 su patente de palas orientables, y la primera turbina Kaplan industrial funcionó en Velm (Austria) en 1919.

En 2023 el mundo tenía 1412 GW de potencia hidroeléctrica. La presa de las Tres Gargantas, en China, suma por sí sola 22,5 GW, y para su embalse se desplazó a cerca de 1,3 millones de personas. Las presas cortan el paso a los

peces migratorios y retienen los sedimentos: según un estudio publicado en 2019, solo el 37 % de los 246 ríos más largos del mundo fluía aún libre en todo su recorrido.

Cifras clave

Primera turbina industrial
Benoît Fourneyron, abril de 1827, Pont-sur-l'Ognon (Francia): 6 CV con un salto de 1,40 m

Potencia disponible
$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$

Cucharas partidas de Pelton
Patente estadounidense 233 692, 26 de octubre de 1880

Mayor central
Presa de las Tres Gargantas, China: 22,5 GW

Potencia hidroeléctrica mundial
1412 GW en 2023

Fuentes

1. Usine de transformation des métaux dite forges de Pont-sur-l'Ognon (IA70000081) · Ministère de la Culture, base Mérimée https://pop.culture.gouv.fr/notice/merimee/IA70000081
2. Instrument de démonstration en mécanique des fluides n° 5 : tourniquet hydraulique · Inventaire du patrimoine, Région Bourgogne-Franche-Comté https://patrimoine.bourgognefranchecomte.fr/dossier/pdf/IM21008546
3. Boyden Hydraulic Turbines (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/AboutASME/Who%20We%20Are/Engineering%20History/Landmarks/5-Boyden-Hydraulic-Turbines-1871.pdf
4. #157 Pelton Waterwheel Collection · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/157-pelton-waterwheel-collection
5. US 233,692: Water-wheel (L. A. Pelton, 26 October 1880) · United States Patent Office, via Google Patents https://patents.google.com/patent/US233692A/en
6. 100 Jahre Kaplan-Turbine (H. Jaberg, WasserWirtschaft 6/2014) · Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, TU Graz https://www.hfm.tugraz.at/fileadmin/user_upload/pics/news/2020/201406_Helmut_Jaberg_Viktor-Kaplan-Kaplanturbine.pdf
7. History of Cragside · National Trust https://www.nationaltrust.org.uk/visit/north-east/cragside/history-of-cragside
8. Milestones: Vulcan Street Plant, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Vulcan_Street_Plant,_1882
9. Milestones: Adams Hydroelectric Generating Plant, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Adams_Hydroelectric_Generating_Plant,_1895
10. Niagara Power Houses · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/niagara/
11. Types of Hydropower Turbines · U.S. Department of Energy, Water Power Technologies Office https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines
12. Turbine types · Electrical and Mechanical Services Department, Hong Kong SAR Government https://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric/Turbine_types.html
13. Glossary of Hydropower Terms · U.S. Bureau of Reclamation https://www.usbr.gov/power/edu/Glossary%20of%20Hydropower%20Terms.pdf
14. Hydraulic head · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Hydraulic_head
15. Water (FAO Training Series), chapter 3: Estimates of water flow · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705e/x6705e03.htm
16. 2024 World Hydropower Outlook · International Hydropower Association https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook
17. Thousands being moved from China's Three Gorges, again (Reuters) · Eco-Business https://www.eco-business.com/news/thousands-being-moved-from-chinas-three-gorges-again/
18. New study: just one-third of the world's longest rivers remain free-flowing · McGill University Reporter (on Grill et al., Nature 569, 2019) https://reporter.mcgill.ca/new-study-just-one-third-of-the-worlds-longest-rivers-remain-free-flowing/
19. Fluid Machinery, lectures 26–27: Pelton wheel · NPTEL, Indian Institute of Technology Kanpur https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_7/7_5.html
20. Pelton Impulse Water Turbine Design Formulas · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hydraulic/pelton_impulse_water_turbine_15629.htm

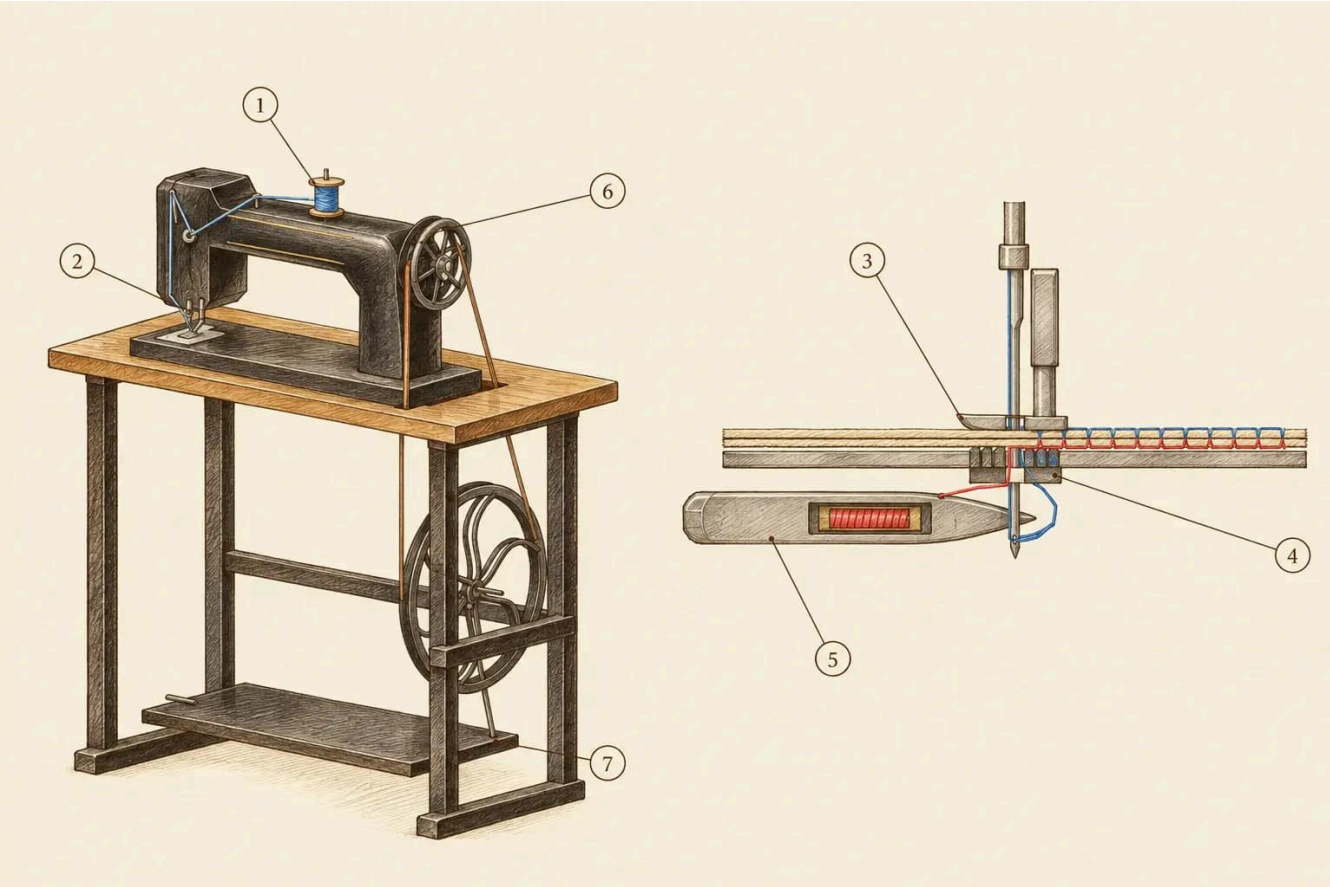
Datos verificados el 2026-10-14

Máquina de coser

Mil puntadas por minuto

1830 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Engranajes (p. 153), Reducción del hierro (p. 136), Tejido en telar (p. 44), Acero (p. 140)



1 Carrete del hilo superior 2 Barra de aguja y aguja 3 Prensatelas 4 Dientes de arrastre 5 Lanzadera con canilla 6 Volante de mano 7 Pedal y volante de inercia

Una máquina de coser une la tela con puntadas formadas mecánicamente, la mayoría de las veces enlazando un hilo superior, llevado por una aguja con el ojo cerca de la punta, con un hilo inferior guardado en una lanzadera o una cápsula de canilla. La máquina de punto de cadeneta de Barthélemy Thimonnier, de 1830, fue la primera usada en un taller; la patente del pespunte de Elias Howe en 1846 y la máquina de Isaac Singer en 1851 la convirtieron en una herramienta de la industria y del hogar.

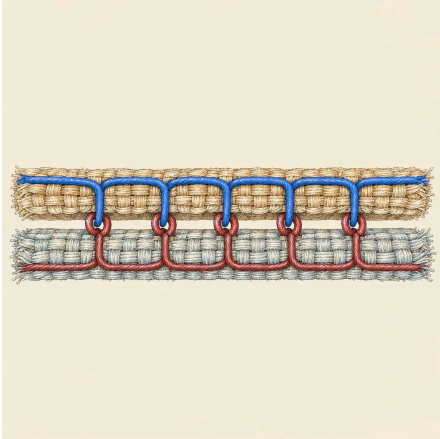
Qué es

Una máquina de coser hace pasar una aguja enhebrada a través de la tela una y otra vez, y en cada pasada anuda el hilo para que las puntadas aguanten. Su mecanismo repite unos pocos movimientos: la aguja baja y sube, un garfio o una lanzadera atrapa el hilo bajo la tela y el tejido avanza una puntada.

La mayoría de las máquinas hacen pespunte: dos hilos, uno desde arriba y otro desde abajo, se enlazan en mitad del grosor de la tela. La máquina típica de las décadas de 1860 a 1880, la que llevó la costura a máquina a talleres y casas, era un cabezal de hierro fundido sobre un pie de pedal, con aguja recta y lanzadera en forma de barca.

Cómo funciona

La aguja de una máquina de coser tiene el ojo cerca de la punta, al revés que una aguja de mano, y nunca se suelta: sigue sujeta en su barra mientras la punta y el ojo atraviesan la tela. Lleva el hilo superior a través del tejido y del agujero de la placa de aguja. Cuando empieza a subir, el rozamiento retiene algo de hilo bajo la tela y junto a la aguja se abre un pequeño bucle.



En un pespunte terminado, el hilo superior y el inferior se enlazan entre las capas de tela.

En ese momento la lanzadera puntiaguda pasa por el bucle, con una pequeña canilla de hilo inferior dentro. El bucle se desliza alrededor de la lanzadera y sale por detrás, de modo que el hilo superior rodea ahora al inferior. El tirahilos, en la parte delantera de la máquina, tensa entonces el hilo superior y el cruce sube hasta la mitad de la tela. Unos muelles de tensión en ambos hilos deciden dónde queda: si un hilo está demasiado tenso, el nudo se ve en una de las caras.

La lanzadera de barca guarda la canilla del hilo inferior; el hilo sale por un agujero lateral, donde un pequeño muelle, que aquí no se dibuja, regula su tensión.

Entre puntada y puntada la tela tiene que avanzar. El prensatelas la sujeta contra una pequeña barra dentada, los dientes de arrastre, que asoma por unas ranuras de la placa, empuja la tela una longitud de puntada y vuelve a bajar. El mismo eje principal que mueve la barra de aguja mediante una manivela acciona desde abajo la lanzadera y el arrastre, así que los tres van acompasados. En una máquina de pedal, los pies balancean un ancho pedal de hierro, una biela hace girar un volante pesado y una correa de cuero sube el movimiento hasta el volante de mano del brazo.

El punto de cadeneta de un hilo, más antiguo, no necesita hilo inferior. En la máquina de Thimonnier, una aguja de gancho tiraba de cada bucle nuevo a través del anterior; las máquinas posteriores de cadeneta de un hilo usan una aguja con ojo y, debajo, un gancho, el lazador, que retiene cada bucle para la puntada siguiente. Es un punto rápido, pero si se tira del cabo de hilo al final de la costura, puede deshacerse la costura entera.

Cómo construirla

Una máquina de coser de verdad exige agujas templadas, levas y piezas ajustadas, hechas en un taller mecánico. Un modelo grande sobre un bastidor sencillo muestra cómo se enlazan los dos hilos de un pespunte.

Hacer el bastidor. Tense un trozo de arpillera de trama floja sobre un marco o un bastidor de bordar y fíjelo a una altura cómoda, con espacio para meter la mano por debajo.

Hacer la aguja. Tome una varilla de madera de unos 30 cm de largo y 8 mm de grosor, sáquele punta roma con un sacapuntas y taladre un agujero de 4 mm a 1 cm de la punta. Pase por ese ojo un hilo grueso de lana de un color, dejando una cola de unos 15 cm.

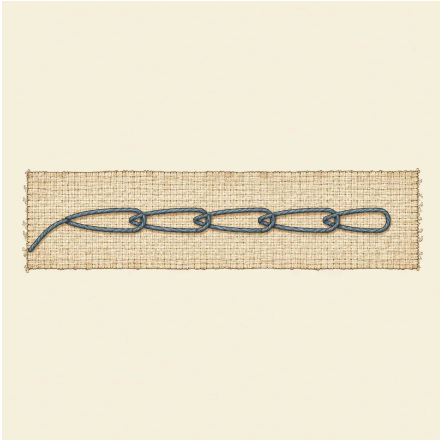
Hacer la lanzadera. Enrolle unos dos metros de hilo de lana de otro color alrededor de una pinza de la ropa o de una pequeña lanzadera de madera. Antes de la primera puntada, sujete el extremo de cada hilo con cinta adhesiva a la parte trasera del bastidor para que no se escape.

Coser. Una persona hunde la aguja en la arpillera hasta que el ojo quede bien por debajo y luego la sube un centímetro sujetando el hilo por encima de la tela, para que se abra un bucle por debajo. Otra persona pasa la lanzadera por el bucle, de delante hacia atrás, soltando hilo cuando haga falta. Saque la aguja hacia arriba y tense ambos hilos para que el cruce se hunda en la trama. Haga la puntada siguiente unos 2 cm más allá sobre la tela y repita. Dé la vuelta al bastidor: los dos colores quedan unidos entre las dos caras.

> **Seguridad.** Sujete la pieza con un tornillo de banco o un sargento al taladrar y mantenga los dedos lejos de la broca. En una máquina de coser real, aleje los dedos de la aguja en movimiento, no meta nunca la mano bajo el prensatelas mientras la máquina funciona y apague y desenchufe una máquina eléctrica antes de enhebrarla, cambiar la aguja o limpiar la pelusa.

Historia y evolución

Desde finales del siglo XVIII varios inventores patentaron artefactos para coser, pero la primera máquina usada en producción fue la del sastre francés Barthélemy Thimonnier, patentada en 1830. Hacía punto de cadeneta con una aguja de gancho, a la manera del bordado de tambor. Pronto tuvo 80 máquinas cosiendo ropa militar en un taller de París. Un grupo de sastres que temían por su oficio entró y las destrozó. La mayoría de los relatos fechan el ataque en 1831; algunos lo sitúan diez años después. Thimonnier murió en 1857.



En la cadeneta cada lazo solo lo sujeta el siguiente. Nada sujeta el último, así que tirar del hilo por ese extremo deshace la costura lazo a lazo.

En Estados Unidos, Elias Howe obtuvo el 10 de septiembre de 1846 la patente n.º 4750 para una máquina de pespunte. Usaba una aguja curva con el ojo cerca de la punta y una lanzadera con el segundo hilo, y él aseguraba que cosía 250 puntadas por minuto. En 1851 Isaac Merritt Singer patentó una máquina cuya aguja recta subía y bajaba sobre una mesa plana, la disposición que aún se usa hoy. Las patentes se solapaban y los fabricantes se demandaron unos a otros hasta 1856, cuando Howe, Singer, Wheeler and Wilson y Grover and Baker reunieron sus patentes en la Sewing Machine Combination; Howe cobraba un derecho por cada máquina vendida.

Edward Clark, socio de Singer, vendió las máquinas a plazos y mediante agentes que iban de puerta en puerta. En 1875 se concedieron licencias para unas 250 000 máquinas Singer, frente a unas 104 000 de su competidor más cercano, Wheeler and Wilson. Los garfios rotativos sustituyeron a la lanzadera en las máquinas rápidas, a finales del siglo XIX se empezaron a montar motores eléctricos y las fábricas de confección pasaron a depender de hileras de máquinas motorizadas que cosían varios miles de puntadas por minuto.

Cifras clave

Máquina de Thimonnier

Patentada en Francia en 1830; 80 máquinas cosían uniformes en París hasta que unos sastres las destruyeron

Patente del pespunte de Howe

Patente estadounidense n.º 4750, 10 de septiembre de 1846; 250 puntadas por minuto según él

Patente de Singer

12 de agosto de 1851: aguja recta con movimiento vertical sobre una mesa plana

Sewing Machine Combination

1856, el primer consorcio de patentes de la industria estadounidense

Máquinas Singer con licencia en 1875

Unas 250 000 máquinas con licencia, más del doble que su competidor más cercano

Fuentes

1. Copy of Thimonnier's chain-stitch sewing machine, 1830 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44718/copy-of-thimonniers-chain-stitch-sewing-machine-1830-sewing-machines
2. Sewing Machine (Designs for Democracy) · U.S. National Archives https://www.archives.gov/exhibits/designs_for_democracy/symbols_and_substance/articles/sewing_machine_1.html
3. Isaac M. Singer (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/isaac-m-singer/
4. 'New Family' sewing machine (model 12/12k) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1351206
5. The Invention of the Sewing Machine (Grace Rogers Cooper, Smithsonian Institution, 1968) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/files/32677/32677-h/32677-h.htm
6. Singer New Family sewing machine, 1865 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44768/singer-new-family-sewing-machine-1865-1
7. Instructions for using and adjusting the Singer 12K sewing machine · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/singer12k/
8. Howe Machine Company instruction book · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/howe/index4.html
9. Singer oscillating shuttle machines: retiming · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/28timing
10. Needles for domestic Singer sewing machines · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/needles

Datos verificados el 2026-10-12

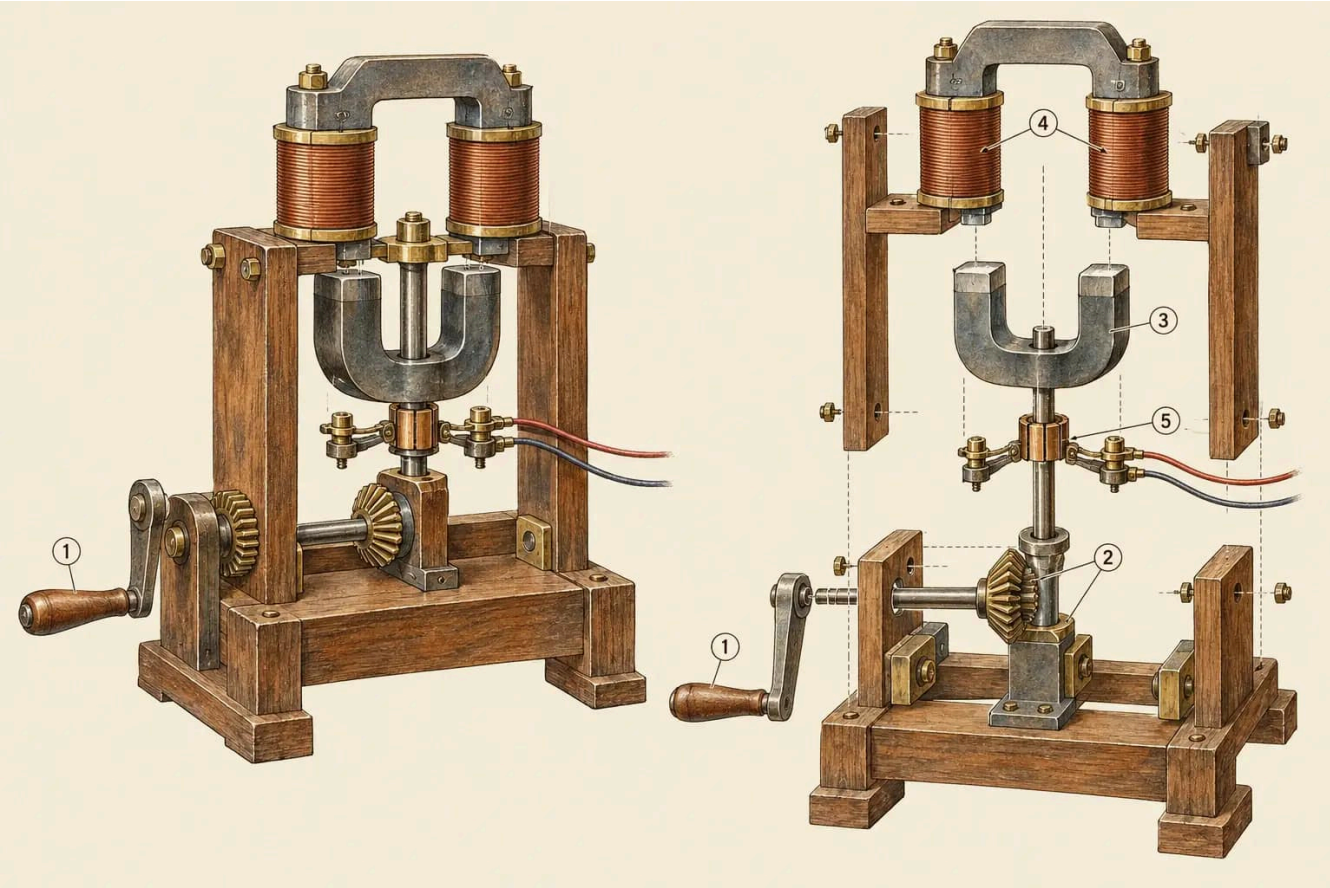
Generador eléctrico

El movimiento convertido en corriente

1831 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Pila eléctrica (p. 239), Reducción del hierro (p. 136)

Conduce a: Aluminio (p. 335), Batería de plomo-ácido (p. 303), Bombilla incandescente (p. 321), Radio (p. 344), Turbina de vapor (p. 325), Transformador (p. 330), Turbina hidráulica (p. 264), Aerogenerador (p. 339), Radiografía (p. 348)



1 Manivela 2 Engranajes cónicos 3 Imán de herradura 4 Bobinas sobre núcleos de hierro 5 Conmutador y escobillas

Un generador eléctrico transforma un movimiento mecánico en corriente eléctrica haciendo pasar un imán y una bobina de hilo uno frente al otro. Michael Faraday descubrió el principio en 1831, y casi toda la electricidad que se consume hoy sigue saliendo de máquinas basadas en él.

Qué es

Un generador convierte en corriente eléctrica un trabajo mecánico, el de una manivela, una rueda hidráulica, una máquina de vapor o una turbina. Necesita un imán, una bobina de hilo de cobre y un medio para hacer pasar uno frente a la otra.

Las pilas son caras y se agotan; los generadores produjeron electricidad en grandes cantidades a partir del carbón o de un salto de agua. Así funcionan las centrales, los alternadores de coche, las dinamos de bicicleta y los aerogeneradores.

Cómo funciona

El principio es la inducción electromagnética. Cuando varía el flujo magnético que atraviesa una bobina (la cantidad de campo que pasa por ella), aparece una tensión entre sus extremos. Si el flujo no cambia, no hay tensión. Cuanto más deprisa varía el flujo y más espiras tiene la bobina, mayor es la tensión.

El anillo de inducción de Faraday: la aguja solo se movía en el momento de conectar o desconectar la pila.

En la máquina de la lámina, construida por Hippolyte Pixii en 1832, una manivela mueve un eje vertical mediante dos engranajes cónicos. El eje lleva un imán permanente de herradura cuyos polos pasan justo bajo dos bobinas fijas con núcleo de hierro. Cuando un polo norte llega bajo una bobina, el flujo que la atraviesa aumenta y la corriente circula en un sentido. Cuando el polo se aleja, el flujo disminuye y la corriente se invierte. El polo sur repite luego el ciclo con el campo en sentido contrario, así que la máquina, sin más, produce corriente alterna.

Pixii añadió un conmutador, sugerido por André-Marie Ampère: un interruptor en el eje que intercambia las dos salidas cada media vuelta, justo cuando la corriente cambia de sentido. Sale entonces una corriente continua pulsante, capaz de cargar acumuladores o descomponer el agua.

El disco de Faraday, de 1831, daba una corriente continua pequeña e ininterrumpida.

En cuanto circula corriente, las bobinas se vuelven imanes y frenan el movimiento: la manivela se endurece al conectar una lámpara. La energía eléctrica obtenida es el trabajo aportado menos las pérdidas por rozamiento y calor.

Los imanes permanentes del siglo XIX eran débiles, así que las máquinas grandes usaban electroimanes. En una dinamo autoexcitada, los alimenta parte de la corriente de la propia máquina. El magnetismo residual del hierro genera una pequeña corriente, que refuerza el campo, que aumenta la corriente, hasta que la tensión se estabiliza en un nivel que fijan la velocidad y la saturación del hierro. Un generador moderno de central hace girar un electroimán dentro de devanados fijos; con dos polos gira a 3000 revoluciones por minuto para dar 50 hercios, o a 3600 para 60.

Cómo construirlo

Un pequeño alternador de manivela puede encender un LED o la bombilla de una linterna.

Hacer el rotor. Cortar un disco de contrachapado o madera dura de unos 15 cm de diámetro. Pegar en una de sus caras ocho imanes planos de disco (ferrita o neodimio), repartidos por igual cerca del borde, de modo que las caras que miran hacia fuera alternen norte, sur, norte, sur. Atarlos con cordel: a gran velocidad, un imán suelto sale despedido.

Bobinar. Arrollar ocho bobinas planas de hilo de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm, de unos cientos de espiras cada una y todas en el mismo sentido, sobre un molde del tamaño de un imán.

Montar el estátor. Fijar las bobinas en una tabla paralela al rotor, cada una frente a un imán, con una separación de pocos milímetros. Las bobinas vecinas quedan siempre frente a polos opuestos: conectarlas en serie

invirtiendo una de cada dos, para que sus tensiones se sumen.

Multiplicar la velocidad. Una correa de una polea grande en la manivela a otra pequeña en el rotor multiplica la velocidad por cuatro o cinco.

Rectificar y probar. La salida es alterna. Cuatro diodos en puente la convierten en corriente continua pulsante. Encender un LED desde el puente a través de una resistencia de un kilohmio y medio vatio, que mantiene la corriente por debajo de unos 20 miliamperios mientras la salida no pase de unos 20 voltios; comprobar la tensión con un polímetro antes de girar con fuerza. Para cargar una batería hace falta un regulador de carga adecuado a su tipo, no basta con los diodos.

Sin imanes comprados, se imantan barras de acero dentro de una bobina alimentada durante unos segundos por una batería, con una bombilla de coche en serie para limitar la corriente. Una dinamo autoexcitada, que arranca con el magnetismo residual, no necesita imán permanente.

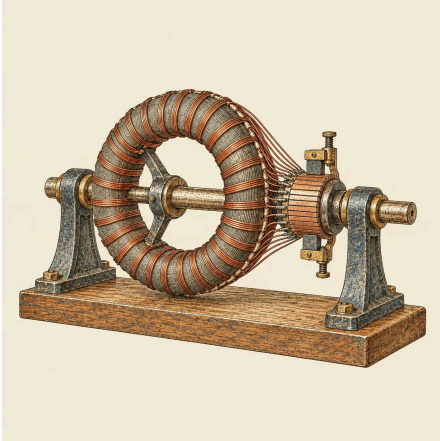
> **Seguridad.** Las piezas giratorias atrapan dedos, pelo y ropa suelta: proteger la correa y el rotor. Los imanes de neodimio chocan con fuerza suficiente para pellizcar la piel y romperse; mantenerlos lejos de los marcapasos. La tensión sube con la velocidad y es peligrosa en las máquinas grandes. No conectar nunca un generador casero o portátil a la instalación de un edificio ni a la red eléctrica: la corriente devuelta a las líneas puede matar a los operarios que trabajan en ellas, y solo un electricista que instale un conmutador de transferencia adecuado debe hacer esa conexión.

Historia y evolución

En 1820 Hans Christian Ørsted demostró que una corriente eléctrica desvía la aguja de una brújula. Michael Faraday supuso que, a la inversa, el magnetismo podría producir electricidad. El 29 de agosto de 1831, en la Royal Institution de Londres, arrolló dos bobinas sobre un anillo de hierro y vio saltar la aguja de un galvanómetro al conectar o desconectar una pila en la otra bobina. Ese otoño hizo girar un disco de cobre entre los polos de un imán y obtuvo una corriente continua. Presentó sus resultados a la Royal Society el 24 de noviembre de 1831.

Al año siguiente, Pixii, fabricante parisino de instrumentos, construyó la máquina de manivela de la lámina. En 1866 y 1867, Samuel Alfred Varley, Werner Siemens y Charles Wheatstone anunciaron cada uno la dinamo autoexcitada, y Siemens llamó al principio «dinamoeléctrico». Hacia 1870, Zénobe Gramme construyó un inducido en anillo que daba una corriente regular.

El 4 de septiembre de 1882, la central de Thomas Edison en Pearl Street, Nueva York, empezó a suministrar corriente continua a 110 voltios con seis dinamos «Jumbo» movidas por vapor. La corriente alterna se impuso después para las largas distancias, porque los transformadores permiten elevar su tensión; en 1891 una línea trifásica llevó energía 175 km, de Lauffen am Neckar a Fráncfort. Charles Parsons acopló una dinamo a una turbina de vapor en 1884, y desde entonces los generadores movidos por turbinas abastecen la mayoría de las grandes centrales. En 1975 arrancó en la presa de Grand Coulee el primero de tres grupos de 600 MW, con un estátor de 22 metros de diámetro.



El anillo de Gramme repartía el devanado por todo el inducido, de modo que la corriente apenas pulsaba.

Cifras clave

Descubrimiento de la inducción
29 de agosto de 1831, por Michael Faraday

Dinamo autoexcitada
1866 a 1867 (Varley, Siemens, Wheatstone)

Máquina magnetoeléctrica de Pixii
París, 1832

Central de Pearl Street, 1882
Seis dinamos de unos 100 kW cada una, corriente continua a 110 V

Fuentes

1. Michael Faraday · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/michael-faraday/
2. Magnetoelectric machine by Pixii · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/MagnetoelectricMachineByPixii.html
3. Chronik: Generatoren · VDE Verband der Elektrotechnik https://www.vde.com/de/geschichte/chronik/generatoren
4. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

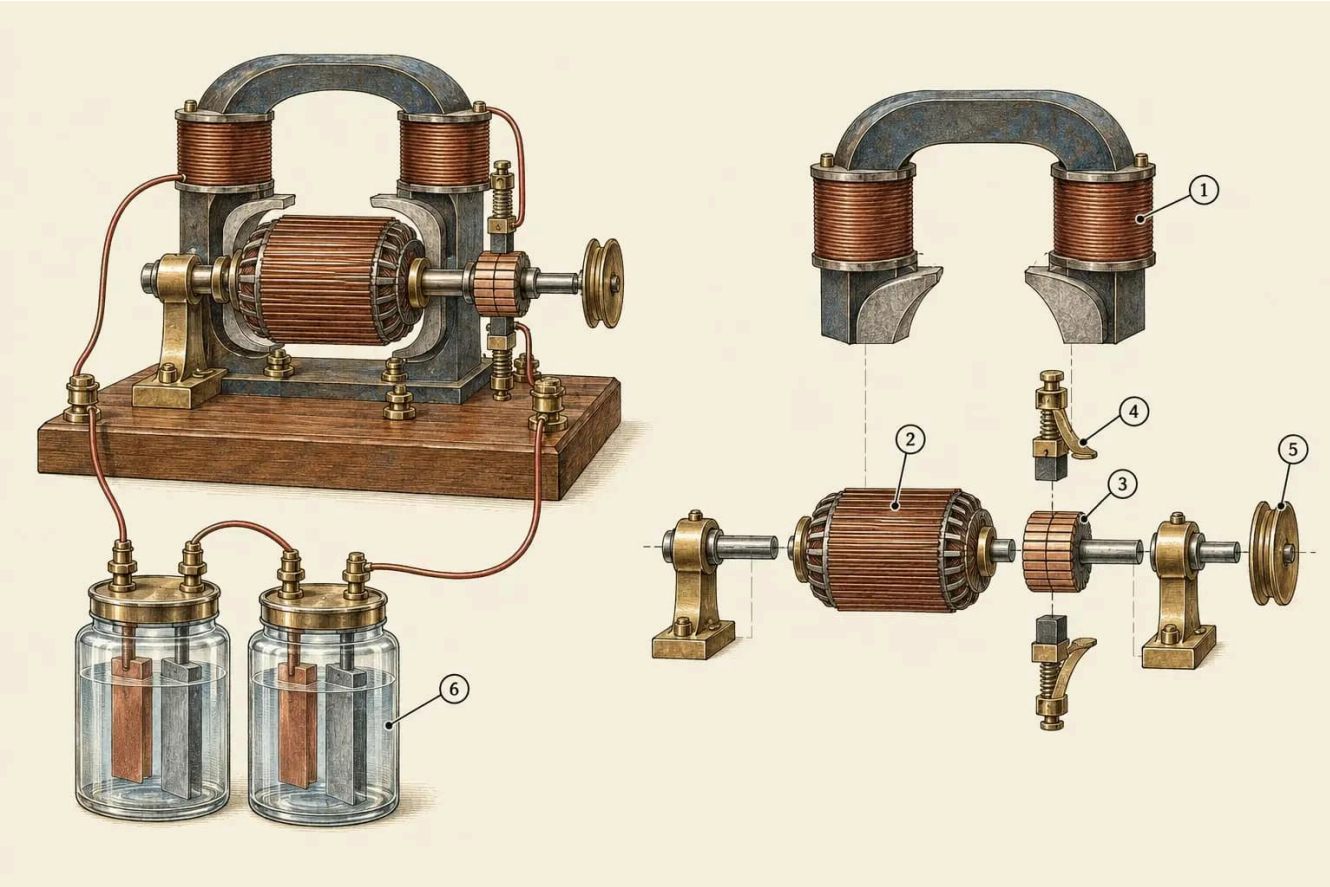
Datos verificados el 2026-10-11

Motor eléctrico

La corriente convertida en giro

1834 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Pila eléctrica (p. 239), Reducción del hierro (p. 136)



1 Imán de campo (inductor) 2 Devanado del inducido 3 Conmutador 4 Escobilla 5 Eje y polea 6 Pila

Un motor eléctrico convierte la corriente en giro: una bobina con corriente situada entre los polos de un imán recibe un empuje lateral, y un conmutador o un campo giratorio mantiene ese empuje en el mismo sentido. El motor de Moritz Jacobi, en 1834, daba mucha más potencia que todos los anteriores; hoy los sistemas accionados por motor consumen cerca de la mitad de la electricidad del mundo.

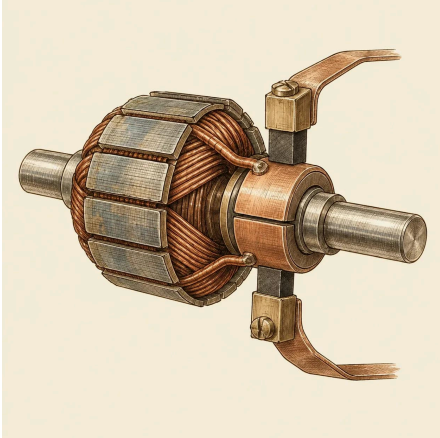
Qué es

Un motor eléctrico transforma la corriente eléctrica en giro. Mueve ventiladores, bombas, ascensores, tranvías y máquinas herramienta. La plataforma Electric Motor Systems del programa 4E de la Agencia Internacional de la Energía calcula que los sistemas accionados por motor consumieron cerca del 53 % de la electricidad mundial en 2023.

La lámina muestra un motor de corriente continua de finales del siglo XIX alimentado por una pila.

Cómo funciona

Un hilo que lleva corriente dentro de un campo magnético recibe un empuje lateral, perpendicular a la corriente y al campo. En una bobina colocada entre dos polos, los dos lados largos llevan corriente en sentidos opuestos: uno es empujado hacia arriba, el otro hacia abajo, y la bobina gira.



Conmutador de dos segmentos: las escobillas cambian de mitad en cada media vuelta.

Por sí sola, la bobina giraría hasta que su plano quedara perpendicular al campo, oscilaría un poco y se detendría ahí. El conmutador lo impide. Es un anillo montado en el eje y dividido en segmentos aislados, cada uno unido a la bobina; dos escobillas fijas rozan sobre él y llevan la corriente. En su forma más simple, de dos segmentos, las escobillas pasan al otro segmento en cada media vuelta, la corriente de la bobina se invierte y el par sigue actuando en el mismo sentido.

El inducido de una máquina lleva muchas bobinas repartidas alrededor de un tambor de hierro, cada una unida a sus propios segmentos, y así el par es regular. Ese hierro se forma con chapas finas aisladas, porque en un núcleo macizo circularían corrientes parásitas que malgastan energía en calor. El campo procede de imanes permanentes en muchos motores pequeños, y de electroimanes en la mayoría de las máquinas del siglo XIX, como la de la lámina.

Un inducido que gira funciona también como generador. Sus bobinas producen una tensión opuesta a la de la alimentación, la fuerza contraelectromotriz, que crece con la velocidad. Al arrancar no existe, y la corriente puede ser varias veces la de régimen. Cuando el motor acelera, esa tensión aumenta y la corriente baja hasta que el par iguala a la carga. Si se hace girar a mano, con el campo excitado y una carga conectada, la misma máquina entrega corriente: motor y generador son un mismo aparato usado en sentidos opuestos.

Los motores de inducción, alimentados con corriente alterna, no tienen conmutador. Unos devanados fijos recorridos por corrientes desfasadas crean un campo magnético giratorio. Este induce corrientes en las barras de cobre o aluminio del rotor, que gira algo más despacio que el campo.

Cómo construirlo

El motor escolar necesita una pila de 1,5 V (tipo D o AA), alrededor de un metro de hilo de cobre esmaltado de 0,5 a 0,8 mm, dos clips grandes, un imán de disco de ferrita o neodimio, una goma elástica resistente y lija fina.

Bobinar. Enrollar el hilo de 10 a 20 vueltas alrededor de un rotulador, dejando 4 o 5 cm rectos en cada extremo. Dar dos vueltas con cada extremo alrededor del haz para sujetarlo. Los dos extremos deben salir por lados opuestos, alineados con el centro de la bobina: son el eje.

Hacer el conmutador. En un extremo, lijar todo el esmalte. En el otro, sostener la bobina en vertical, tal como quedará montada, y quitar el esmalte solo de la mitad superior del hilo. Ese extremo conduce durante media vuelta y aísla durante la otra, de modo que la bobina nunca recibe un empuje hacia atrás; pasa la media vuelta muerta por inercia.

Montar los soportes. Doblar cada clip en forma de soporte, con un pie plano abajo y un pequeño ojal arriba. Tensar la goma a lo largo de la pila, por encima de los dos pies, para que apriete cada clip contra un borne. Colocar el imán en el costado de la pila, debajo de los ojales: queda sujeto a la carcasa de acero. Apoyar la bobina en los ojales, a pocos milímetros del imán.

El conmutador del motor de clips: cobre desnudo arriba, esmalte debajo; la corriente solo pasa durante la media vuelta en que el lado desnudo se apoya en el clip.

Ponerlo en marcha. Dar a la bobina un ligero impulso. Si solo oscila, darle la vuelta de extremo a extremo o volver a lijar el lado pelado.

Hacerlo más grande. Un imán más fuerte da más par; más vueltas también ayudan, mientras el hilo más largo no reduzca demasiado la corriente. Un motor de taller reúne varias bobinas sobre un núcleo de hierro laminado, con un conmutador de muchos segmentos y escobillas con muelle, como en la lámina.

> **Seguridad.** Usar solo una o dos pilas corrientes de 1,5 V: nunca la red eléctrica, una batería de coche ni una batería de iones de litio. La bobina es casi un cortocircuito, y esas fuentes pueden dar corriente suficiente para quemar la piel, fundir el hilo o provocar un incendio. Incluso una pila pequeña se calienta, gire o no el motor: hacer pruebas cortas y vigiladas, y desconectar la pila en cuanto ella o el hilo se entibien, antes de ajustar o lijar, y al terminar. Los imanes de neodimio se juntan con tanta fuerza que pellizcan la piel y pueden romperse. Mantenerlos lejos de marcapasos y otros implantes médicos, y fuera del alcance de los niños pequeños: dos imanes tragados pueden atraerse a través de la pared del intestino.

Historia y evolución

En 1820 Hans Christian Ørsted vio desviarse la aguja de una brújula junto a un hilo con corriente. El 3 de septiembre de 1821 Michael Faraday hizo girar alrededor de un imán un hilo sumergido en mercurio, y en 1822 Peter Barlow hizo girar una rueda en forma de estrella entre los polos de un imán. Eran demostraciones de potencia casi nula. Los campos intensos llegaron con el electroimán, que William Sturgeon construyó a mediados de la década de 1820, y hacia 1832 William Ritchie y Sturgeon construyeron máquinas giratorias con conmutador.

La rotación de Faraday (1821): el extremo libre del hilo gira alrededor del imán.

En mayo de 1834, en Königsberg, Moritz Hermann Jacobi terminó un motor con ocho electroimanes de herradura que daba unos 15 vatios. Esta lámina toma 1834 como fecha: Faraday mostró el principio y la pequeña máquina de Sturgeon ya hacía girar un asador, pero la máquina de Jacobi era mucho más potente, y ningún otro constructor la igualó antes de 1839 aproximadamente. La patente estadounidense de Thomas Davenport llegó en 1837.

Las pilas hacían caros estos motores hasta que el generador trajo corriente barata. En 1873 se vio que una dinamo de Zénobe Gramme giraba como motor si otra la alimentaba. Galileo Ferraris, en Turín, estudió el campo giratorio desde 1885 y lo publicó en marzo de 1888; Nikola Tesla, que trabajaba por su cuenta en Nueva York, obtuvo su patente del motor de inducción el 1 de mayo de 1888. Hoy, motores de imanes permanentes controlados por electrónica mueven drones y coches eléctricos.

Cifras clave

Motor de Jacobi, mayo de 1834

Unos 15 W a 60–130 rpm, alimentado con pilas de zinc y cobre

Primera patente de motor en EE. UU.

Thomas Davenport, patente n.º 132, febrero de 1837

Campo magnético giratorio

Galileo Ferraris, publicado en marzo de 1888; patente de Nikola Tesla, 1 de mayo de 1888

Parte de la electricidad mundial

Cerca del 53 % consumido por sistemas accionados por motor en 2023

Fuentes

1. The invention of the electric motor 1800–1854 · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1376.php
2. Jacobi's Motor · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1382.php
3. 200 Years Ago, Faraday Invented the Electric Motor · IEEE Spectrum https://spectrum.ieee.org/200-years-ago-faraday-invented-the-electric-motor
4. Barlow's Wheel – 1822 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/barlow-s-wheel-1822/
5. Replica of William Sturgeon's rotary electromagnetic engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36713/replica-of-william-sturgeons-rotary-electromagnetic-engine
6. Zenobe Gramme · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Zenobe_Gramme
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885–1888 · IEEE, Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Tesla's Electro-magnetic motor · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Tesla's_Electro-magnetic_motor
9. AC Motors · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/motorac.html
10. Simple DC Motor (demonstration 5K40.18) · Oberlin College Physics Department https://www2.oberlin.edu/physics/catalog/demonstrations/em/simpledcmotor.html
11. Policy Brief: Electric Motor Systems, why are they important? · IEA 4E Electric Motor Systems Platform (EMSA) https://www.iea-4e.org/emsa/publications/policy-brief-electric-motor-systems-why-are-they-important/
12. College Physics 2e, 22.8 Torque on a Current Loop: Motors and Meters · OpenStax, via LibreTexts https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/22%3A_Magnetism/22.08%3A_Torque_on_a_Current_Loop_-_Motors_and_Meters
13. College Physics 2e, 23.6 Back Emf · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/23-6-back-emf
14. RE-280RA/SA metal-brush motor datasheet · Mabuchi Motor Co. (copy hosted by the University of North Carolina at Charlotte) https://webpages.charlotte.edu/~jmconrad/ECGR4161-2009-01/labs/re_280rasa.pdf

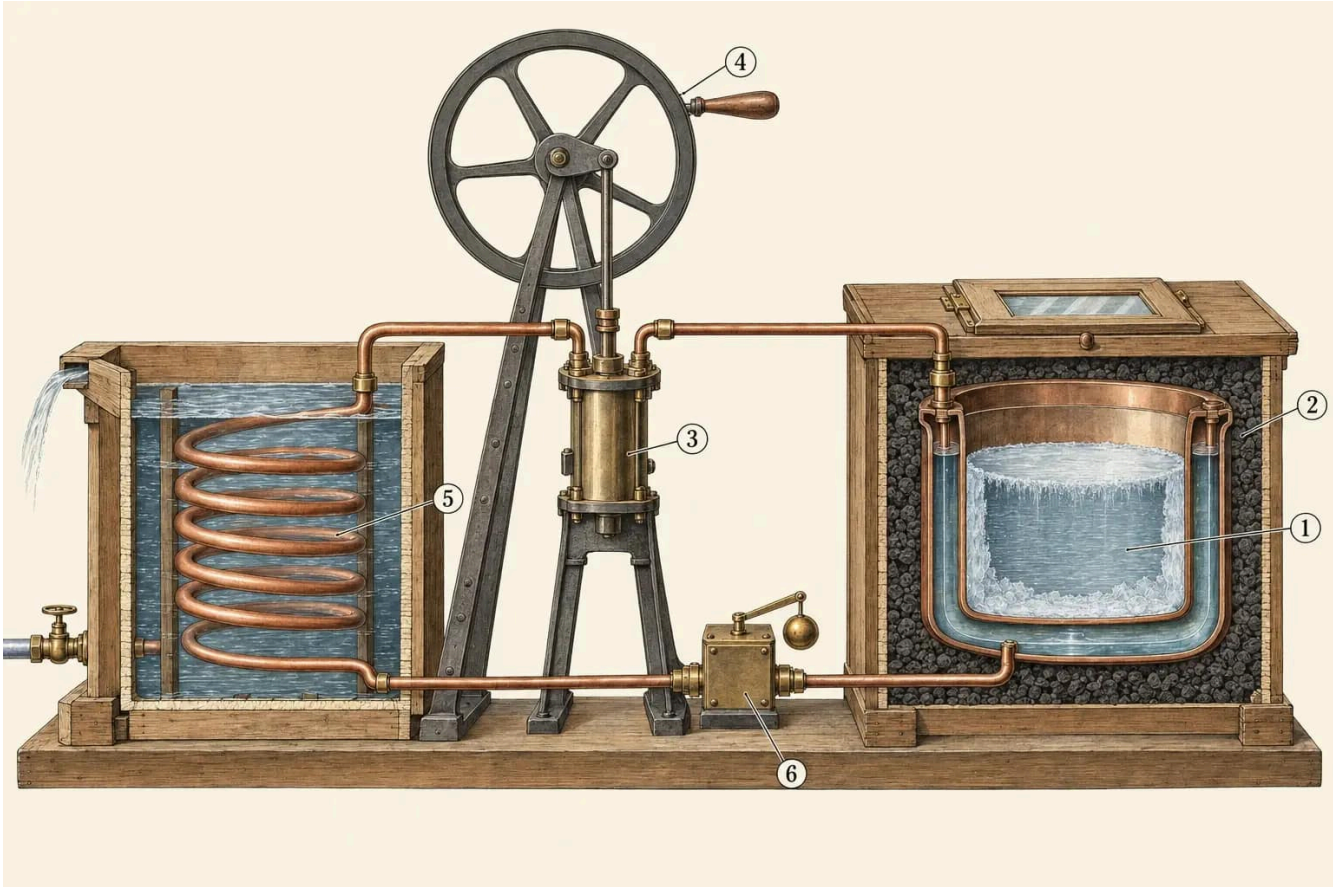
Datos verificados el 2026-10-14

Refrigeración

Bombear el calor fuera de una caja

1834 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Máquina de vapor (p. 226), Bomba de pistón (p. 161), Termómetro y barómetro (p. 221), Destilación (p. 173)



1 Recipiente de doble pared con el agua que se va a congelar 2 Caja rellena de carbón vegetal 3 Bomba 4 Volante y manivela 5 Serpentín en su cuba de agua de refrigeración 6 Caja de la válvula lastrada

La refrigeración mantiene un espacio más frío que su entorno haciendo hervir en él un líquido, que absorbe calor, y sacando luego el vapor al exterior para comprimirlo y devolverlo al estado líquido. Jacob Perkins patentó en Londres en 1834 la primera máquina de compresión de vapor en circuito cerrado; las máquinas de amoníaco enfriaban cervecerías y barcos en la década de 1870, y el frigorífico eléctrico doméstico se extendió desde finales de la de 1920.

Qué es

Un frigorífico saca el calor de un espacio cerrado y lo expulsa al exterior, de lo frío a lo caliente, al revés de como el calor fluye por sí solo. Los alimentos duran más porque las bacterias y los mohos que los estropean crecen despacio con el frío. Las mismas máquinas fabrican hielo, enfrían la cerveza durante la elaboración, llevan carne congelada de un continente a otro y climatizan edificios.

Casi todas funcionan con el ciclo de compresión de vapor. La lámina muestra su primera forma operativa: una máquina de éter que el ingeniero John Hague construyó en Londres según la patente de Jacob Perkins de 1834. La

bomba se accionaba a mano.

Cómo funciona

Un líquido que se evapora toma calor de todo lo que toca; el sudor refresca la piel de la misma manera. Cuanto más baja es la presión, más baja es la temperatura de ebullición: el éter hierve a unos 35 °C al aire libre, pero en un recipiente donde una bomba mantiene la presión baja hierve muy por debajo del punto de congelación del agua.

La doble vasija de barro aprovecha el mismo efecto: el agua que se evapora de la arena húmeda roba calor a la olla interior.

En la máquina de Hague, el recipiente de cobre de doble pared contiene en su cuenco interior el agua que se va a congelar, y el éter ocupa el espacio entre las dos paredes. La bomba aspira el vapor de éter por la parte alta de esa camisa, de modo que el éter líquido sigue hirviendo y quita calor al agua hasta que se hiela. Carbón vegetal en polvo apretado alrededor del recipiente frena el calor que entra desde la sala.

La misma bomba empuja después el vapor hacia un tubo de cobre enrollado, el serpentín, metido en una cuba de agua corriente. Una válvula cargada a unas 15 libras por pulgada cuadrada, algo más de un bar, mantiene el vapor a presión dentro del serpentín. Comprimido y enfriado por el agua, el vapor vuelve a ser líquido y cede el calor que tomó del recipiente, más el trabajo aportado en la bomba. El líquido pasa la válvula, su presión baja y regresa a la camisa para hervir otra vez. La misma carga de éter da vueltas sin gastarse.

Un frigorífico moderno hace lo mismo con un compresor eléctrico, una rejilla de tubos en la parte trasera que calienta la cocina, un tubo estrecho o una válvula donde cae la presión y un evaporador dentro del aparato. Los frigoríficos de absorción sustituyen la bomba por un líquido que absorbe el vapor del refrigerante y un quemador o una resistencia que vuelve a expulsarlo.

Cómo construirlo

Un circuito frigorífico real contiene un fluido volátil a presión. El éter es muy inflamable y su vapor puede explotar; el amoníaco es tóxico; los refrigerantes actuales se guardan líquidos a varios bares y algunos son inflamables. Las máquinas se fabrican y se cargan en fábrica; deje cualquier apertura, carga o vaciado de un circuito a técnicos frigoristas cualificados, según las normas locales. No fabrique un compresor ni un recipiente a presión, y no corte ni taladre nunca los tubos de un frigorífico viejo.

El efecto en que se basa puede mostrarse sin riesgo con un enfriador de doble vasija.

Elegir las vasijas. Tome dos vasijas de terracota sin esmaltar, nuevas y limpias, una unos 5 cm más ancha que la otra por todo el contorno; la interior, que toca los alimentos, debe venderse para uso alimentario, nunca una maceta vieja de jardín. Tape los agujeros de drenaje con arcilla o un corcho.

Rellenar el hueco. Ponga una capa de arena en el fondo de la grande, coloque la pequeña encima y llene de arena el espacio entre ambas hasta el borde.

Mojar. Vierta agua limpia en la arena hasta que esté empapada pero no encharcada. Cubra la vasija interior con un paño de algodón húmedo.

Colocar. Ponga el enfriador a la sombra, donde circule aire seco a su alrededor. El agua que rezuma por la pared exterior se evapora y quita calor a la arena y a la vasija interior. Con aire caliente y seco, el interior puede

mantenerse varios grados por debajo del ambiente; con aire húmedo, el efecto es pequeño. Añada agua una o dos veces al día.

> **Seguridad.** Un enfriador por evaporación solo retrasa el deterioro: no alcanza los 5 °C o menos que necesitan la carne, el pescado y los lácteos; úselo solo para frutas y verduras enteras, sin cortar, que aguantan a temperatura ambiente, nunca para fruta cortada, ensaladas ni comida cocinada, y compruebe su temperatura con un termómetro. Mantenga limpios la arena y el paño y deje secar las vasijas a menudo para evitar el moho. No abra, perfore ni caliente nunca el circuito de un frigorífico o de un aparato de aire acondicionado.

Historia y evolución

Antes de que las máquinas llegaran a la cocina, un bloque de hielo enfriaba la nevera forrada de zinc.

Mucho antes de cualquier máquina se guardaba el hielo del invierno en pozos y neveras, y se refrescaba el agua en vasijas porosas. En Escocia, William Cullen demostró que un líquido que se evapora deprisa a presión reducida, éter en su demostración más conocida, enfría el agua que lo rodea hasta helarla; los relatos fechan esos trabajos entre 1748 y 1756. Se quedó en una demostración de laboratorio. En 1805 el estadounidense Oliver Evans describió un ciclo cerrado de compresión de vapor, pero nunca lo construyó.

Jacob Perkins, inventor estadounidense afincado en Londres, patentó una máquina de circuito cerrado el 14 de agosto de 1834. Hague la construyó; produjo algo de hielo, pero no encontró compradores. La idea se convirtió en negocio en la década de 1850, cuando James Harrison en Australia y Alexander Twining en Estados Unidos construyeron las primeras máquinas de hielo que se vendieron. En 1859 el francés Ferdinand Carré patentó una máquina de absorción con amoníaco disuelto en agua. En la década de 1870 Carl von Linde diseñó en Múnich máquinas de compresión de amoníaco; una de las primeras, vendida en 1876, fue a una cervecería de Trieste. Ese mismo año el barco francés Frigorifique, equipado por Charles Tellier, realizó el primer transporte marítimo de carne refrigerada entre Ruan y Buenos Aires.

Los motores eléctricos pequeños hicieron posible el frigorífico doméstico. El Monitor Top de General Electric, de 1927, con el compresor en un tambor sobre el mueble, costaba unos 525 dólares al salir y bajó a unos 200 en pocos años. Los clorofluorocarbonos como el freón, desarrollados en 1928 y fabricados comercialmente desde principios de la década de 1930, sustituyeron después a los refrigerantes tóxicos o inflamables de los primeros aparatos domésticos, como el dióxido de azufre, el cloruro de metilo y el amoníaco. Más tarde se descubrió que destruían la capa de ozono, y el Protocolo de Montreal de 1987 organizó su abandono; en 2016 la enmienda de Kigali añadió a sus sustitutos, los HFC, potentes gases de efecto invernadero. En 2024 el Instituto Internacional del Frío estimaba que el frío y la climatización consumen alrededor de una quinta parte de la electricidad del mundo.

El Monitor Top de 1927: el compresor va dentro del tambor, y el serpentín de cobre que lo rodea desprende el calor sacado del interior.

Cifras clave

Patente de Perkins

Patente británica n.º 6662, 14 de agosto de 1834, con éter como fluido de trabajo

Máquina de absorción de amoníaco de Carré

1859, Francia

Parte de la electricidad mundial dedicada al frío

Alrededor del 20 % (Instituto Internacional del Frío)

Válvula lastrada de la máquina de Hague

Cargada a unas 15 libras por pulgada cuadrada (alrededor de 1 bar)

Protocolo de Montreal sobre gases que destruyen el ozono

Firmado en 1987, en vigor en 1989; HFC añadidos en Kigali en 2016

Fuentes

1. #274 Perkins Vapor-Compression Cycle for Refrigeration (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/getmedia/cb9bea09-6d23-425e-bfe5-5f6d786919fb/274-Perkins-Vapor-Comp-Refrig.pdf
2. Froid · Encyclopédie Larousse https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/froid/53766
3. Historical beginnings: using natural refrigeration · Chillventa / NürnbergMesse https://www.chillventa.de/en/expert-insights/refrigeration/beginnings-of-refrigeration
4. Cornerstones of compression: making cold · COMPRESSORtech2 https://www.compressortech2.com/news/cornerstones-of-compression-making-cold/8054876.article
5. GE Monitor-Top Refrigerator · Albany Institute of History & Art https://albanyinstitute.org/online-exhibition/50-objects/section/ge-monitor-top-refrigerator
6. The Montreal Protocol · UNEP Ozone Secretariat https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol
7. New IIR figures highlight the role of the refrigeration sector · International Institute of Refrigeration https://iifiir.org/en/news/de-nouveaux-chiffres-de-l-iif-mettent-en-lumiere-la-place-du-secteur-du-froid
8. Got a question about Monitor Top refrigerators? (model history) · cool386.com https://www.cool386.com/ge/ge1.html
9. Diethyl ether: phase change data (vapour pressure, enthalpy of vaporization) · NIST Chemistry WebBook https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C60297&Mask=4
10. Diethyl ether (compound summary, vapor pressure) · PubChem, National Library of Medicine https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3283

Datos verificados el 2026-10-12

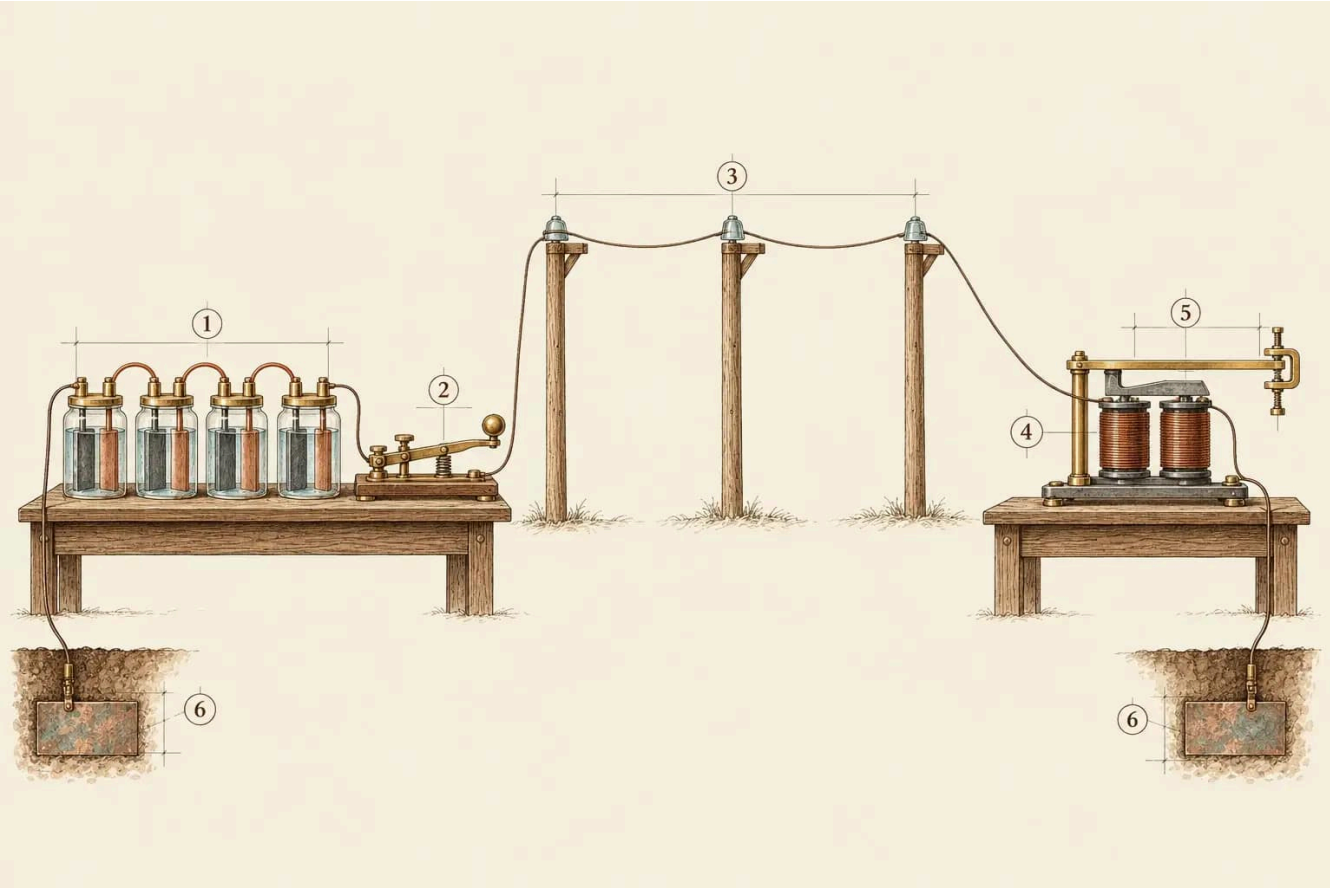
Telégrafo eléctrico

Mensajes escritos enviados por un hilo

1837 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Pila eléctrica (p. 239), Escritura (p. 85)

Conduce a: Radio (p. 344), Teléfono (p. 317)



1 Pila 2 Manipulador 3 Hilo de línea sobre aisladores 4 Electroimán del receptor acústico 5 Palanca de la armadura 6 Placa de tierra

El telégrafo eléctrico envía mensajes por un hilo en forma de impulsos de corriente de una pila: un manipulador abre y cierra el circuito, y en el otro extremo un electroimán hace legibles los impulsos. William Cooke y Charles Wheatstone patentaron un telégrafo de agujas en Gran Bretaña en 1837, Samuel Morse y Alfred Vail presentaron su telégrafo registrador en 1838, y treinta años después los cables unían los continentes.

Qué es

El telégrafo eléctrico envía mensajes escritos en forma de señales eléctricas por un hilo. En un extremo, un operador abre y cierra un circuito; en el otro, un aparato se mueve cada vez que pasa la corriente. Las letras se deletrean con un código. En los primeros aparatos de cinco agujas de Cooke y Wheatstone, las agujas señalaban letras en un tablero; los aparatos de agujas posteriores usaban un código de desviaciones a izquierda y derecha.

La lámina muestra la forma más sencilla, la línea de un solo hilo que se usaba con el código Morse: una pila, un manipulador, una fila de postes y, en la estación receptora, un receptor acústico. El propio suelo devuelve la corriente.

Cómo funciona

La pila es una fila de elementos, cada uno con una placa de zinc y otra de cobre en un líquido, conectados en serie para que sus tensiones se sumen. Un polo de la pila va a tierra por una placa metálica enterrada y el otro al manipulador. El manipulador es una palanca de latón con muelle: al bajarla cierra un contacto y conecta la pila con la línea.

La corriente recorre el hilo de línea, apoyado en aisladores de vidrio para que no se escape por la madera húmeda de los postes, y atraviesa las bobinas de un electroimán en la estación de destino. Desde allí baja al suelo por una segunda placa de tierra y vuelve a la pila a través del terreno. Usar la tierra como retorno ahorra la mitad del hilo.

Mientras pasa la corriente, las bobinas se convierten en un imán y atraen una armadura de hierro fijada a una palanca que pivota y golpea un tope con un chasquido. Al soltar el manipulador, un muelle levanta la palanca contra un segundo tope, con otro sonido. Una pulsación breve da un punto y una más larga una raya, y sus combinaciones representan letras y cifras. Los primeros aparatos de Morse grababan en relieve o marcaban con tinta puntos y rayas sobre una tira de papel en movimiento, pero los operadores descubrieron pronto que podían leer los chasquidos de oído.

Un manipulador Morse: al apretar el pomo se cierra el contacto que hay bajo la palanca.

Cómo construirlo

Un manipulador y un receptor acústico se pueden montar sobre una mesa y hacer funcionar con una pila pequeña, lo que deja ver bien el principio.

Bobinar el electroimán. Enrolle unos 30 metros de hilo de cobre esmaltado de 0,2 mm de diámetro en capas ordenadas alrededor de un clavo grande o un perno de hierro de unos 10 cm, dejando libres los dos extremos. Raspe el esmalte del último centímetro de cada uno. Esta bobina tiene unos 16 ohmios, así que una batería de 4,5 voltios de tres pilas AA hace pasar por ella menos de 0,3 amperios.

Hacer el receptor. Taladre un agujero en una tabla y pegue en él el clavo de pie, con la cabeza hacia arriba, sin aplastar el bobinado. Corte de una lata de conservas una tira de hojalata de 1 por 8 cm aproximadamente, lime los bordes y atornille un extremo a un taco de madera de modo que el otro quede a pocos milímetros sobre la cabeza del clavo. Dóblela para que vuelva a su sitio al empujarla, y fije un tornillo en un pequeño soporte de madera justo encima del extremo libre: la tira golpea el clavo al ser atraída y el tornillo al volver. Ajuste la separación a 2 o 3 mm y doble la tira hasta que baje con firmeza y aun así vuelva a subir.

Hacer el manipulador. Atornille a otra tabla una lámina de latón flexible o una tira de hojalata doblada, de modo que un extremo quede algo levantado. Ponga debajo del extremo libre una chincheta o un tornillo como contacto.

Cablear. Una un extremo de la bobina a un borne de un portapilas de tres pilas AA. Una el otro borne al contacto fijo del manipulador, y la lámina del manipulador al otro extremo de la bobina. Entre las dos tablas use cable de

timbre corriente, de unos 10 metros como mucho: un cable más largo o más fino añade resistencia y la tira puede dejar de bajar.

Transmitir. Apriete el manipulador: la tira golpea el clavo con un chasquido y salta al soltar. Acuerde un código con un compañero y envíe palabras cortas.

> **Seguridad.** Use solo una pila pequeña de pocos voltios y no conecte nunca nada a la red eléctrica. No deje el manipulador apretado mucho rato, porque la bobina y las pilas se calientan, y desconecte la pila al terminar. No una nunca directamente los dos bornes de la pila. Los bordes de hojalata cortan: límelos y use guantes.

Historia y evolución

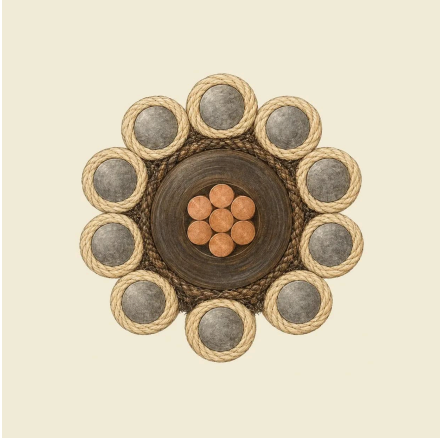
Antes de la electricidad, el telégrafo óptico de Chappe pasaba las señales de torre en torre; un mensaje podía ir de París a Lille en una media hora.

La palabra telégrafo designó primero el sistema óptico de Claude Chappe y sus hermanos, presentado en 1791. Su primera línea, de París a Lille, se abrió en 1794 y cubría unos 230 km. En cada torre, los operadores colocaban unos brazos de madera en posiciones convenidas y leían la torre siguiente con un anteojo. En su apogeo, la red francesa sumaba casi 5000 km.

El telégrafo eléctrico fue posible cuando las pilas pudieron dar una corriente constante y los electroimanes detectarla. En Gran Bretaña, William Fothergill Cooke y Charles Wheatstone patentaron en junio de 1837 un telégrafo de agujas, descrito con cinco agujas, y probaron ese mismo año un aparato de agujas entre las estaciones londinenses de Euston y Camden Town. En 1839 el Great Western Railway instaló uno de sus telégrafos en unos 21 km de línea desde Paddington. Los aparatos británicos posteriores solo necesitaban una o dos agujas.

En Estados Unidos, Samuel Morse, pintor y profesor en Nueva York, trabajó con Alfred Vail, que construía los instrumentos. Presentaron su telégrafo el 6 de enero de 1838 en la ferrería de la familia Vail, cerca de Morristown, con unos tres kilómetros de hilo. En 1843 el Congreso aprobó 30 000 dólares para una línea de Washington a Baltimore, y el 24 de mayo de 1844 Morse transmitió por ella las palabras «What hath God wrought» («Lo que Dios ha obrado»). Hacia 1850 las líneas llegaban a todas las ciudades importantes al este del Misisipi, y una alcanzó California en 1861.

Un cable submarino unió Dover y Calais en 1851. El primer cable atlántico, tendido en agosto de 1858, dejó de funcionar a las pocas semanas; uno duradero se llevó a tierra en julio de 1866. Los ingenieros aprendieron a enviar varios mensajes por un solo hilo, primero uno en cada sentido a la vez con el dúplex que perfeccionó Joseph Stearns en 1868, y luego dos en cada sentido con el cuádruplex de Thomas Edison. El tráfico telegráfico británico alcanzó su máximo hacia 1900, con unos 90 millones de mensajes al año. Después el teléfono se quedó con la mayor parte del trabajo, y hacia 1980 los satélites y los nuevos cables habían dejado obsoleta la telegrafía submarina.



Sección del cable atlántico de aguas profundas de 1865-1866: siete hilos de cobre en gutapercha, una capa de yute alquitranado y diez alambres de hierro forrados de cáñamo.

Cifras clave

Patente de Cooke y Wheatstone
Junio de 1837, cinco agujas y seis hilos

Primera demostración de Morse y Vail
6 de enero de 1838, Speedwell Iron Works (Nueva Jersey), con unos 3 km de hilo

Línea Washington-Baltimore
30 000 dólares votados por el Congreso en 1843; primer mensaje el 24 de mayo de 1844

Cable transatlántico duradero
Julio de 1866, tras un cable de 1858 que falló en pocas semanas

Red óptica de Chappe en su apogeo
Casi 5000 km de torres de señales, sustituidas por líneas eléctricas en la década de 1850

Fuentes

1. Telegraph · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telegraph
2. Milestones: Demonstration of Practical Telegraphy, 1838 · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Milestones:Demonstration_of_Practical_Telegraphy,_1838
3. Cooke and Wheatstone · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Cooke_and_Wheatstone
4. Submarine cable section (Atlantic cable, 1865) · Royal Museums Greenwich https://rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-6204
5. Sample of the 1865/66 Transatlantic Telegraph Cable · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co34219/sample-of-the-1865-66-transatlantic-telegraph-cab-cable
6. Modern Practice of the Electric Telegraph (appendix and notes) · Frank L. Pope, 1869 (insulators.info) https://www.insulators.info/books/mpet/chap10.htm
7. Insulator Tests, The Journal of the Telegraph, 16 December 1872 · Western Union (insulators.info) https://reference.insulators.info/publications/view/?id=11419
8. Resistivity and temperature coefficient at 20 C · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html
9. Copper Wire Tables (Handbook 100) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
10. Electromagnet · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet

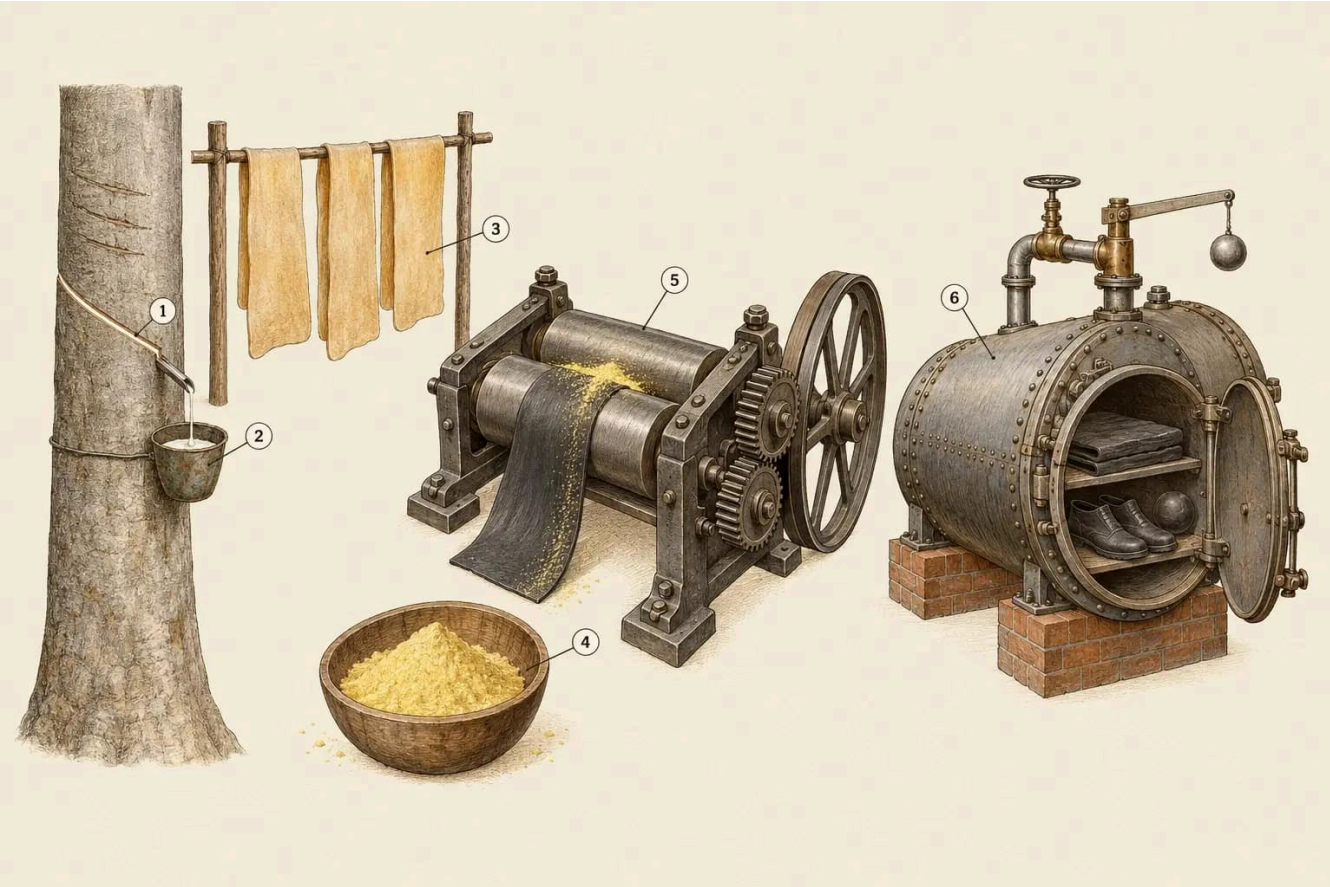
Datos verificados el 2026-10-12

Caucho vulcanizado

Savia endurecida con azufre

1839 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Dominio del fuego (p. 9)



1 Corte de sangría 2 Taza de látex 3 Láminas de caucho crudo 4 Azufre 5 Mezcladora de dos cilindros 6 Autoclave de vulcanización

El caucho vulcanizado es caucho cuyas largas moléculas se han unido entre sí, al principio calentando caucho natural con azufre: así sigue siendo elástico con calor y con frío en lugar de volverse pegajoso o quebradizo. Charles Goodyear en Estados Unidos y Thomas Hancock en Gran Bretaña pusieron a punto el procedimiento a principios de la década de 1840, y con él el caucho sirvió para neumáticos, mangueras, juntas y calzado.

Qué es

El caucho natural procede del látex, un líquido lechoso que mana de los cortes hechos en la corteza de ciertos árboles tropicales, hoy sobre todo el árbol del caucho, Hevea brasiliensis. Seco y prensado es impermeable y elástico, pero el caucho crudo se vuelve blando y pegajoso en un día caluroso, rígido y agrietado con la helada, y se deforma poco a poco bajo carga.

La vulcanización corrige esos defectos. El caucho se mezcla con un poco de azufre y se calienta. El resultado es el material de neumáticos, mangueras, cintas transportadoras, juntas, botas y gomas elásticas, que recupera su

forma en un amplio intervalo de temperaturas.

Cómo funciona

El caucho está formado por moléculas en cadena muy largas, cada una hecha de miles de pequeñas unidades. En el caucho crudo las cadenas están enredadas como espaguetis cocidos. Al tirar, se estiran; al soltar, se vuelven a encoger, y de ahí la elasticidad. Pero nada las une entre sí: con una tracción sostenida o con calor resbalan unas sobre otras, y el material fluye y se pega.

En Mesoamérica el caucho se hacía mezclando el látex de Castilla elastica con el jugo de una enredadera de la familia de las campanillas.

A la temperatura de vulcanización, átomos de azufre se fijan en ciertos puntos de las cadenas y forman puentes entre cadenas vecinas, de uno o varios átomos de azufre cada uno. Unos pocos puentes por cadena convierten el enredo en una sola red floja. Todavía puede estirarse mucho, porque los tramos de cadena entre puentes pueden desenrollarse, pero ya no fluye y recupera su forma al soltarlo.

El número de puentes fija la dureza. Un caucho blando solo necesita una pequeña proporción de azufre. Con mucho más, la red se vuelve tan densa que el producto, la ebonita o caucho duro, es rígido y quebradizo. Calentado solo con azufre, el caucho vulcaniza despacio; desde principios del siglo XX, los aceleradores, activados por óxido de zinc y ácido esteárico, hacen la reacción más rápida y uniforme.

Cómo se fabrica

Goodyear contó que descubrió el efecto cuando una mezcla de caucho y azufre tocó una estufa caliente y se carbonizó sin fundirse.

Los artículos de caucho se hacen en fábricas, con prensas calientes, salas de mezcla ventiladas y extracción de humos. El azufre caliente arde con facilidad y al quemarse desprende dióxido de azufre, tóxico; las mezclas en curado emiten humos irritantes y los aceleradores modernos irritan la piel y los pulmones: vulcanizar no es una tarea doméstica. El proceso sigue estos pasos.

Sangrar. Cada dos días, más o menos, se rebaja una fina tira de corteza a lo largo de un corte inclinado, lo bastante hondo para abrir los vasos de látex sin llegar al cámbium, la fina capa de crecimiento que hay bajo la corteza. El látex corre por el corte hasta una taza.

Coagular. El látex se diluye y se cuaja con un ácido débil, como el fórmico o el acético; el caucho se separa como una cuajada blanda. Se prensa en láminas y se seca, a menudo al humo, que además protege del moho.

Mezclar. El caucho crudo se trabaja entre pesados cilindros hasta que se ablanda, y se le incorporan el azufre, las cargas y los aceleradores.

Dar forma y curar. La mezcla se moldea, se extruye o se extiende sobre tela, y luego se calienta en una prensa o en un autoclave de vapor hasta que se forman los puentes.

Una comparación sencilla y cualitativa muestra el cambio. Corte una goma elástica para obtener una tira y recorte otra del mismo ancho, grosor y largo en crepé crudo, sin vulcanizar, de los que se venden para manualidades (algunas suelas de crepé están vulcanizadas: compruebe la etiqueta). Cuelgue el mismo peso pequeño de cada

una durante una noche, quítelo y espere diez minutos: la goma suele volver casi a su largo, mientras que la tira cruda tiende a quedar más larga. Después déjelas una hora en el congelador, caliéntelas en agua a unos 40 °C y compare su rigidez y lo pegajosas que están. Los productos llevan cargas distintas, así que tome el resultado como una tendencia.

> **Seguridad.** No caliente azufre ni intente vulcanizar caucho en casa: los humos son tóxicos, y el azufre fundido quema y puede arder. En la fábrica, los cilindros mezcladores pueden aplastar y arrastrar las manos, y las prensas y autoclaves están calientes y a presión: requieren máquinas protegidas y operarios formados. El caucho natural y el látex producen alergia a algunas personas: quien sea alérgico al látex no debe tocar las muestras, y los demás deben usar guantes de nitrilo. Compruebe la temperatura del agua antes de meter las manos.

Historia y evolución

En Mesoamérica ya se procesaba el caucho hacia 1600 a. C. Se mezclaba el látex de Castilla elastica con el jugo exprimido de una enredadera de la familia de las campanillas, que lo hacía más elástico, y con él se hacían pelotas de hasta 7 kg para un juego de pelota ritual, además de suelas de sandalias y ataduras. Observadores españoles describieron el caucho en el siglo XVI. En Europa y Norteamérica su uso se extendió a principios del siglo XIX, pero los objetos de caucho crudo se ablandaban en verano y se agrietaban en invierno.

En 1837 Thomas Hancock patentó una máquina para amasar el caucho crudo, y en la década de 1830 varias personas observaron que el azufre lo hacía menos pegajoso. Charles Goodyear, un ferretero cargado de deudas, que volvió a perder a sus financiadores con la crisis de 1837, probó tratamientos durante años. En 1839, según su relato, un trozo de caucho mezclado con azufre tocó una estufa caliente y se carbonizó por el borde sin fundirse. Tardó unos cinco años en hacer fiable el procedimiento. En Gran Bretaña, Hancock vio en 1842 muestras del caucho azufrado estadounidense y desarrolló su propio método; presentó una patente de vulcanización el 21 de noviembre de 1843, y la patente estadounidense n.º 3633 de Goodyear llegó el 15 de junio de 1844. El nombre, tomado de Vulcano, dios romano del fuego, lo propuso un amigo de Hancock, William Brockedon. Goodyear pasó años en pleitos y murió en 1860 sin haber sacado provecho de su descubrimiento.

La demanda de neumáticos, correas y aislantes desató una fiebre del caucho silvestre en la cuenca amazónica. En 1876 Henry Wickham envió unas 70 000 semillas de hevea desde Brasil a los jardines de Kew, en Londres, y las plántulas se mandaron a las colonias británicas de Asia. En 1900 las plantaciones asiáticas producían unas 4 toneladas, frente a unas 27 000 recogidas en la Amazonia; en 1916 ya daban la mayor parte del caucho del mundo. Muchos cauchos sintéticos, obtenidos más tarde del petróleo, se vulcanizan con azufre de forma muy parecida; otros, como el neopreno, se curan con óxidos metálicos.

Fruto, semillas y hoja de la hevea: cada cápsula guarda tres semillas, como las que Wickham envió a Kew en 1876.

Cifras clave

Caucho procesado en Mesoamérica
Hacia 1600 a. C.; las pelotas del juego ritual pesaban hasta 7 kg

Contenido de caucho del látex fresco
Entre el 30 y el 40 %, el resto sobre todo agua

Patente británica de Hancock
Presentada el 21 de noviembre de 1843

Patente estadounidense de Goodyear
N.º 3633, 15 de junio de 1844

Semillas de hevea enviadas por Wickham
Unas 70 000, de Brasil a Kew en 1876

Fuentes

1. Charles Goodyear (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/charles-goodyear/
2. Rubber processed in ancient Mesoamerica, MIT researchers find · MIT News https://news.mit.edu/1999/rubber-0714
3. Natural rubber · Transport Information Service (GDV) https://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm
4. The seeds of discord · Revista Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/the-seeds-of-discord/
5. Sulfur vulcanization · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_vulcanization
6. Thomas Hancock (inventor) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Hancock_(inventor)
7. Hevea brasiliensis (rubber tree) fact sheet · EAFRINET, National Museums of Kenya and Lucidcentral https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Hevea_brasiliensis_%28Rubbertree%29.htm

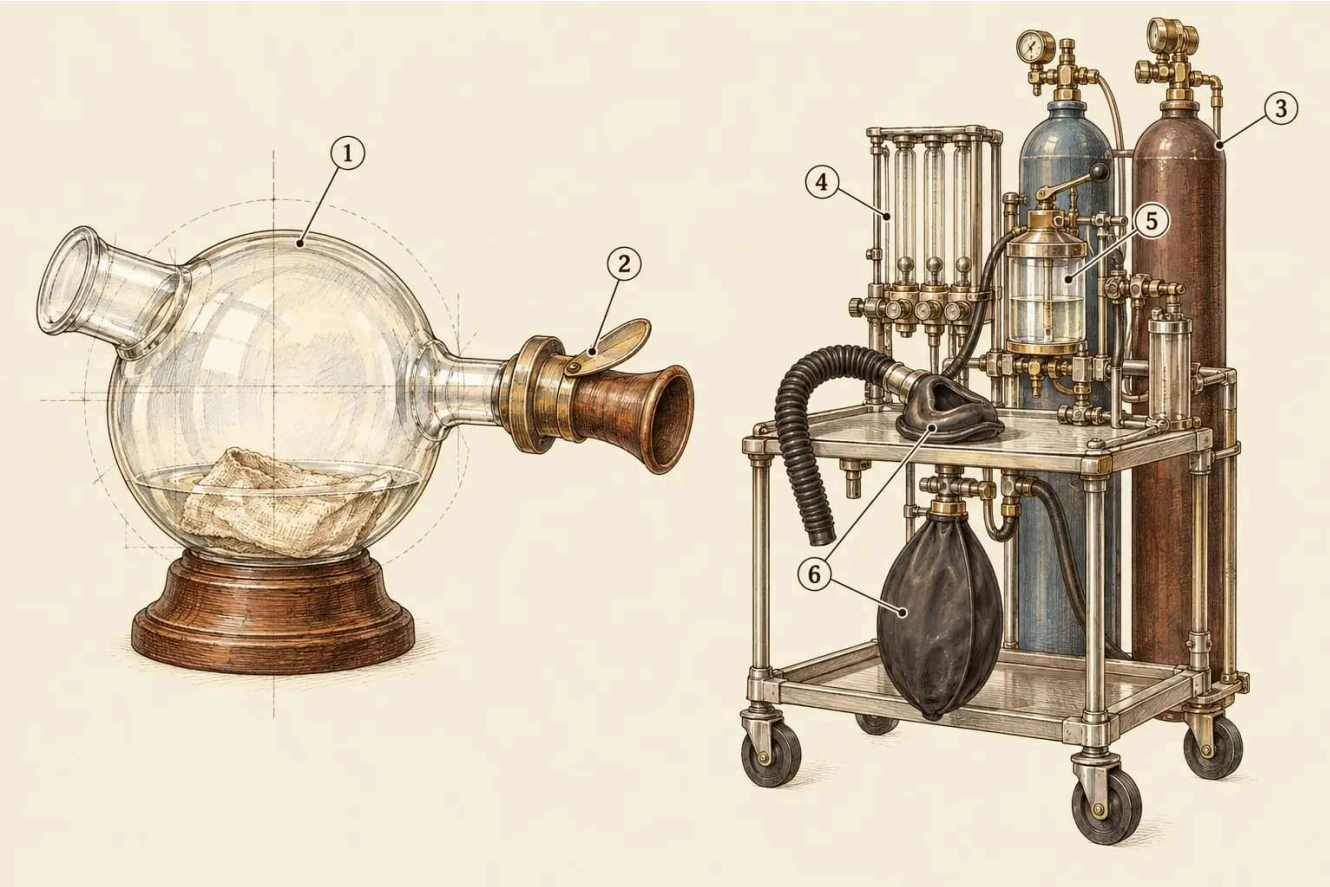
Datos verificados el 2026-10-12

Anestesia

Operar sin dolor ni conciencia

1846 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Higiene y antisepsia (p. 298), Vidrio (p. 132)



1 Globo de vidrio del inhalador de éter de Morton 2 Boquilla y válvula 3 Bombonas de gas 4 Caudalímetros de vidrio 5 Frasco vaporizador 6 Bolsa reservorio y mascarilla

La anestesia es la práctica médica que suprime el dolor, y a menudo la conciencia, para que se pueda operar. Desde una demostración pública con éter en Boston en 1846, anestesistas formados, la vigilancia y el oxígeno la han convertido en rutina, y junto con la antisepsia hizo de la cirugía un tratamiento corriente en lugar de un último recurso.

Qué es

La anestesia suprime el dolor, y en su forma general también la conciencia, para que un cirujano pueda operar. La anestesia general es una inconsciencia controlada y reversible. La anestesia regional insensibiliza una gran parte del cuerpo, como un brazo o todo lo que queda por debajo de la cintura, mientras el paciente sigue despierto. La anestesia local adormece una zona pequeña, lo justo para coser una herida o tratar una muela.

La lámina pone dos aparatos uno junto al otro. A la izquierda, el inhalador de vidrio con el que William Morton administró éter en Boston en 1846. A la derecha, una máquina de anestesia de principios del siglo XX: bombonas

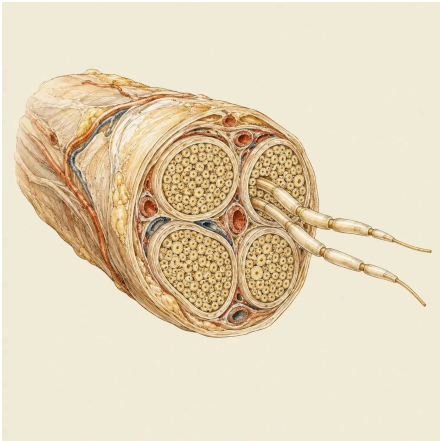
de gas comprimido, caudalímetros de vidrio, un frasco donde el gas se carga con el vapor de un agente volátil, y la bolsa y la mascarilla por las que respira el paciente.

Cómo funciona

Los anestésicos generales llegan al cerebro por la sangre, inhalados por los pulmones o inyectados en una vena. Muchos refuerzan el efecto del GABA, la principal señal de freno del cerebro, de modo que las neuronas se activan menos. La conciencia se apaga y no se forman recuerdos. Los detalles todavía se discuten.

Según el fármaco y el paciente, esa depresión alcanza también los centros que mantienen el cuerpo en marcha. La respiración puede volverse superficial o detenerse. Los músculos de la garganta se relajan y la lengua puede caer hacia atrás y tapar la vía aérea. Los reflejos de tos y deglución se debilitan, y el contenido del estómago puede subir hasta los pulmones. La presión arterial suele bajar. Por eso el anestesista mantiene abierta la vía aérea, da oxígeno, a menudo respira por el paciente mediante un tubo o una mascarilla y ajusta los fármacos minuto a minuto.

Los anestésicos locales actúan sobre los propios nervios. Una señal nerviosa es una onda eléctrica que recorre una fibra, impulsada por iones de sodio que entran por diminutos canales de su membrana. El fármaco bloquea esos canales: la onda se extingue donde está el fármaco y al cerebro no le llega nada de lo que hay más allá. Alrededor de un nervio, insensibiliza todo su territorio; en el líquido que rodea las raíces nerviosas de la parte baja de la espalda, la mitad inferior del cuerpo. Las células del corazón y del cerebro usan el mismo tipo de canal, y por eso un exceso de anestésico local en la sangre puede causar convulsiones o parar el corazón.



Un nervio es un cable de miles de fibras; el anestésico local silencia cada una de las que alcanza.

Cómo se hace segura

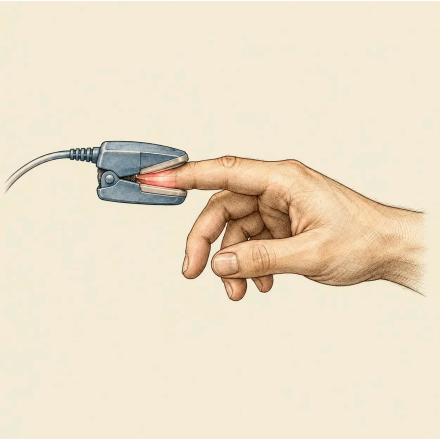
Esta sección describe cómo organizan los hospitales la anestesia. No es un procedimiento para aplicar fuera de ellos.

Un equipo formado. Según el país, la anestesia la dirige un médico formado durante años o personal de enfermería especializado. Permanecen junto al paciente desde el primer fármaco hasta que la respiración y la conciencia han vuelto con seguridad.

La consulta previa. El equipo pregunta por enfermedades, medicamentos, alergias y anestesias anteriores, examina la boca, el cuello, el corazón y los pulmones, y elige con el paciente entre anestesia general, regional o local.

El estómago vacío. Antes de una operación programada, el paciente deja de comer unas horas antes, a menudo unas seis tras una comida ligera, lo que reduce el riesgo de que el contenido del estómago pase a los pulmones. El hospital fija los horarios exactos para cada paciente.

Material revisado antes de cada paciente. Oxígeno con una bombona de reserva, aspiración, dispositivos para mantener abierta la vía aérea, un medio para ventilar a mano si la máquina falla y medicamentos de reanimación. Un hospital de campaña trabaja con equipo más sencillo, pero no puede prescindir de ninguno de estos elementos.



La pinza hace pasar luz roja e infrarroja por el dedo y estima qué parte de la hemoglobina va cargada de oxígeno.

Vigilancia continua. El pulsioxímetro muestra la saturación de oxígeno de la sangre. Otros aparatos siguen el ritmo cardiaco, la presión arterial y el dióxido de carbono de cada espiración, que indica que el aire llega de verdad a los pulmones. Ninguno sustituye al anestesista que observa al paciente.

La lista de verificación. En 2008 la Organización Mundial de la Salud lanzó una lista de verificación de la seguridad quirúrgica. El equipo hace una pausa antes de la anestesia para confirmar el paciente, la operación, las alergias, una vía aérea difícil y un pulsioxímetro que funcione, y otra vez antes de la incisión y antes de que el paciente salga del quirófano. En un estudio en ocho hospitales, las muertes tras cirugía mayor bajaron del 1,5 % al 0,8 %.

El despertar. El paciente despierta en una sala de recuperación donde el personal de enfermería vigila su respiración, su oxígeno, el dolor y las náuseas. Tras una anestesia general, alguien debe llevarlo a casa, y no debe conducir durante al menos 24 horas.

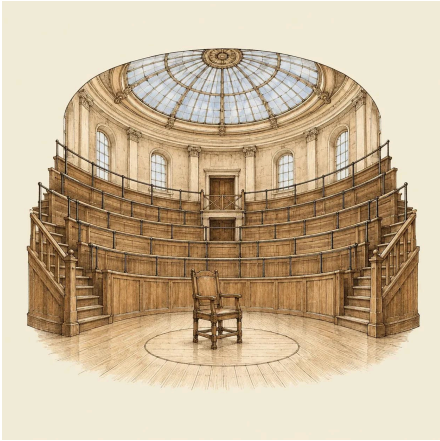
> **Seguridad.** Los gases y fármacos anestésicos nunca deben usarse fuera de una atención médica cualificada. Con muchos de estos fármacos, la dosis que suprime la conciencia no está lejos de la que detiene la respiración o los reflejos de protección, y la diferencia varía de una persona a otra y de un minuto a otro. Sin alguien formado para mantener abierta la vía aérea y dar oxígeno, y sin vigilancia ni material de reanimación, una persona inconsciente puede morir en pocos minutos. Inhalar gases o disolventes por sus efectos ha matado a mucha gente, y el éter es muy inflamable. Quien sufre un dolor intenso o necesita una operación debe ser llevado a un hospital.

Historia y evolución

Antes de la anestesia, los cirujanos contaban con el alcohol, el opio y la rapidez. El 13 de octubre de 1804, en Japón, Hanaoka Seishū extirpó un tumor de mama a una mujer que había tragado su mezcla de hierbas. Japón estaba entonces cerrado al mundo y su trabajo siguió siendo desconocido fuera.

En 1800 Humphry Davy sugirió que el óxido nitroso podría usarse en cirugía. En diciembre de 1844 el dentista Horace Wells se hizo sacar una muela bajo ese gas, pero su demostración en Boston, en enero de 1845, fracasó cuando el paciente gritó. En Georgia, Crawford Long ya había operado con éter el 30 de marzo de 1842, aunque no lo publicó hasta 1849.

La lámina toma como fecha el 16 de octubre de 1846. En el Massachusetts General Hospital, Morton dio éter a Gilbert Abbott mientras el cirujano John Collins Warren le extirpaba un tumor del cuello. La noticia corrió deprisa y en pocos meses el éter se usaba en Europa. En Edimburgo, James Young Simpson probó el cloroformo el 4 de noviembre de 1847; actuaba más rápido y no ardía, pero el margen entre lo suficiente y el exceso era estrecho. John Snow estudió sus dosis y en 1853 lo administró a la reina Victoria en el parto del príncipe Leopoldo. La anestesia permitió operaciones más largas, pero las heridas seguían infectándose hasta que llegó la antisepsia, a finales de la década de 1860.



La cirugía se enseñaba en anfiteatros de gradas muy inclinadas, como el de Boston, hoy llamado Ether Dome.

En 1884 Carl Koller demostró que la cocaína insensibilizaba el ojo, y en 1898 August Bier realizó en Kiel la primera anestesia raquídea. La cocaína era tóxica y adictiva, así que llegaron fármacos sintéticos más seguros: la procaína en 1905 y la lidocaína en los años cuarenta. El siglo XX trajo los anestésicos intravenosos y los relajantes musculares, la intubación se volvió rutinaria, y la pulsioximetría, descrita por Takuo Aoyagi en 1974, se extendió por los quirófanos en los años ochenta.

Cifras clave

Día del éter
16 de octubre de 1846, Massachusetts General Hospital, Boston

Cocaína en el ojo
Comunicación de Koller leída en Heidelberg el 15 de septiembre de 1884

Lista de verificación de la OMS
19 puntos; en ocho hospitales piloto, las muertes bajaron del 1,5 % al 0,8 % (2009)

La operación de Hanaoka
13 de octubre de 1804, Japón, con un anestésico tomado por boca

Pulsioximetría
Principio descrito por Takuo Aoyagi en 1974

Fuentes

1. Ether & Ether Dome History · Massachusetts General Hospital, Treadwell Virtual Library https://libguides.massgeneral.org/mghhistory/ether
2. Crawford Long (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/crawford-long
3. The surprising and long story of the first use of ether in surgery · The Conversation https://theconversation.com/the-surprising-and-long-story-of-the-first-use-of-ether-in-surgery-113340
4. Horace Wells (1815–1848) and William TG Morton (1819–1868): pioneers in anaesthesiology · South African Dental Journal, vol. 75 no. 2 (2020) https://scielo.org.za/pdf/sadj/v75n2/11.pdf
5. Davy, Researches, chemical and philosophical, chiefly concerning nitrous oxide (1800) · Heirs of Hippocrates, University of Iowa Libraries https://heirs.lib.uiowa.edu/record.php?id=1338.5
6. History of the Japanese Society of Anesthesiologists · Japanese Society of Anesthesiologists https://anesth.or.jp/users/english/about_jsa/history
7. A great leap forward: James Young Simpson · Royal College of Surgeons of Edinburgh https://archiveandlibrary.rcsed.ac.uk/special-collections/the-battle-for-midwifery/a-great-leap-forward-james-young-simpson
8. John Snow: anesthesia · UCLA Fielding School of Public Health https://epi-snow.ph.ucla.edu/Stream4_Snowlife_d.html
9. Cocaine: what is the crack? A brief history of the use of cocaine as an anesthetic · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4335732/
10. Cocaine and self-experimentation · Association of Anaesthetists, Heritage Centre https://anaesthetists.org/Home/Heritage-centre/Learning/Heritage-Centre-blog-celebrating-75-years-of-Anaesthesia/Cocaine-and-Self-experimentation-a-blog-post-from-the-Heritage-Centre
11. Sodium channels and local anesthetics: old friends with new perspectives (Körner et al., 2022) · Frontiers in Pharmacology https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2022.837088/full
12. How general anesthetics work (Hibbs lab, Nature 2020) · UT Southwestern Medical Center https://www.utsouthwestern.edu/ctplus/stories/2020/general-anesthetics-benzos.html
13. General anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/general-anaesthesia/
14. Local anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/local-anaesthesia/
15. Pulse oximetry, Takuo Aoyagi memorial issue (Journal of Anesthesia, 2021) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8327306/
16. Safe surgery: tools and resources · World Health Organization https://www.who.int/teams/integrated-health-services/patient-safety/research/safe-surgery/tool-and-resources
17. RCSI endorses the World Health Organisation's second Global Patient Safety Challenge (June 2008) · RCSI University of Medicine and Health Sciences https://www.rcsi.com/dublin/news-and-events/news/news-article/2008/06/rcsi-endorses-the-world-health-organisations-second-global-patient-safety-challenge
18. Implementation manual: WHO surgical safety checklist 2009 · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/9789241598590
19. Simple surgical checklist cuts deaths 40 percent · Harvard Medical School https://hms.harvard.edu/news/simple-surgical-checklist-cuts-deaths-40-percent

Datos verificados el 2026-10-14

Higiene y antisepsia

Cortar el paso a los gérmenes

1847 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Jabón (p. 93), Microscopio (p. 213), Agua potable (p. 35), Destilación (p. 173)

Conduce a: Anestesia (p. 293), Penicilina (p. 356)

1 Palangana y jarra 2 Caldera del pulverizador de ácido fénico 3 Boquilla y nube de ácido fénico
4 Tapa atornillada, manómetro y válvula de seguridad 5 Cesta de instrumentos en el vapor 6 Quemador bajo el autoclave

La higiene y la antisepsia cortan los caminos que siguen los gérmenes de una persona a otra: las manos, los instrumentos, los vendajes y el agua. Lavarse con jabón, mantener el agua lejos de las aguas residuales, usar sustancias que matan los gérmenes en las heridas y esterilizar con calor las herramientas hicieron mucho más seguros el parto y la cirugía en la segunda mitad del siglo XIX.

Qué es

Los gérmenes pasan de una persona a otra por caminos que nadie ve: una mano que tocó a un enfermo y luego una herida, un bisturí limpiado en el delantal, agua sacada aguas abajo de una letrina. La higiene y la antisepsia son los hábitos y las herramientas que cortan esos caminos. El jabón y el agua quitan los gérmenes. El calor y ciertas sustancias químicas los matan. La asepsia, en el sentido que le dan los cirujanos, los mantiene lejos de la herida desde el principio.

La lámina reúne tres etapas de esta idea: la palangana colocada a la entrada de una sala de partos de Viena en 1847, el pulverizador de ácido fénico que Joseph Lister usaba en la década de 1870 y el autoclave de vapor que, desde la de 1880, esterilizó instrumentos y vendajes con calor en lugar de productos químicos.

Cómo funciona

Una bacteria es una sola célula de unas milésimas de milímetro; un virus es mucho más pequeño y solo se multiplica dentro de células vivas. Unos y otros viajan en la piel, las gotitas, el polvo, los alimentos, el agua o las herramientas, y las heces los llevan en cantidades enormes. Una infección necesita una fuente, un portador y una puerta de entrada, como la boca o una herida. Lavarse las manos entre un enfermo y otro elimina al portador, y el germen no pasa de ahí.

El jabón actúa sobre todo arrastrando los microbios. Cada molécula de jabón se agarra al agua por un extremo y a la grasa por el otro, así que despega la película grasa de la piel, con los microbios atrapados en ella, y se la lleva con el aclarado. Además rompe los virus envueltos en una capa grasa, como el de la gripe.

Frotar con los dedos entrelazados llega a la piel que hay entre ellos, uno de los sitios que más se olvidan.

El calor mata desplegando para siempre las proteínas del microbio, igual que cuaja la clara de huevo. Un hervor fuerte mata las bacterias corrientes, los virus y los parásitos. Algunas bacterias, entre ellas las del tétanos y el botulismo, pueden encerrarse en esporas de cubierta dura que resisten la ebullición. El vapor a presión de un autoclave, mantenido a 121 °C o más el tiempo suficiente y en contacto con toda la carga, también acaba con ellas: eso es esterilizar en sentido estricto.

Los antisépticos se usan sobre tejido vivo y los desinfectantes sobre objetos. El alcohol despliega las proteínas, y por eso las soluciones para las manos llevan al menos un 60 %. Los compuestos de cloro, como el cloruro de cal de Viena o la lejía de hoy, oxidan todo lo que tocan en la célula. El ácido fénico de Lister mataba gérmenes, pero también dañaba los tejidos de los operados y las manos de los cirujanos, y se abandonó. La suciedad y la sangre protegen a los gérmenes de todas estas sustancias, así que primero siempre se limpia.

Cómo hacerlo

Son hábitos cotidianos que recomiendan las autoridades sanitarias, no actos médicos.

Lavarse bien las manos. Mójalas con agua limpia, del grifo o vertida, y haz espuma con jabón. Frota palma con palma, cada palma sobre el dorso de la otra mano con los dedos entrelazados, otra vez palma con palma con los dedos entrelazados, el dorso de los dedos, cada pulgar girando dentro de la otra palma y las yemas contra la palma. La secuencia de la OMS dura de 40 a 60 segundos; los CDC estadounidenses piden al menos 20 segundos de frotado. Aclara y seca con una toalla limpia o al aire.

Saber cuándo. Después de ir al baño o de cambiar un pañal, antes de cocinar y de comer, antes y después de atender a un enfermo o una herida, y después de tocar animales o basura.

Separar el agua de los desechos. Cava las letrinas cuesta abajo de cualquier pozo o manantial y a 30 m como mínimo, más lejos en grava o roca fisurada, con el fondo del hoyo al menos 1,5 m por encima del nivel freático más alto de la época de lluvias. Estas distancias son solo un punto de partida: pide al servicio local de salud o de aguas que revise el terreno y hacia dónde corre el agua subterránea.

Cuenta los veinte minutos desde que el agua hierve con fuerza y no añadas nada después.

Hervir herramientas y paños. Lava primero con jabón las tijeras, las pinzas y los paños, porque el calor atraviesa mal la sangre seca y la grasa. Cúbrelos de agua en una olla con tapa, llévala a hervor fuerte y cuenta 20 minutos desde ese momento sin añadir nada. Deja enfriar, saca los objetos con unas tenazas hervidas a la vez y mételos enseguida en una caja con tapa también hervida. Sirven para sacar una astilla o cortar un vendaje. Hervir desinfecta, pero no esteriliza: las agujas y todo lo que entra en el cuerpo deben llegar estériles y precintados de una farmacia o un centro de salud.

Limpiar un corte pequeño. Lávate las manos y enjuaga el corte con agua limpia del grifo o con agua hervida ya fría hasta que no quede suciedad, y lava con jabón la piel de alrededor. Seca a toquecitos y cúbrelo con un apósito estéril o una tirita de farmacia.

> **Seguridad.** No fabriques antisépticos ni desinfectantes en casa y no mezcles nunca productos de limpieza: la lejía con ácidos o con amoníaco desprende un gas tóxico. Nada de lo que se describe aquí debe tragarse ni inyectarse. El agua hirviendo y el vapor queman: mantén a los niños lejos de la olla. Llama a emergencias si una hemorragia no para o el corte es muy profundo. Busca atención médica pronto ante un corte largo o de bordes separados, una quemadura, cualquier mordedura de animal o de persona, una herida con tierra, o si una herida se pone roja, hinchada o más dolorosa, supura o viene con fiebre. Puede hacer falta la vacuna antitetánica.

Historia y evolución

En la maternidad de Viena, la clínica donde se formaban los estudiantes de medicina perdía por fiebre puerperal a una de cada diez madres; la de las comadronas, a una de cada treinta. En marzo de 1847 murió Jakob Kolletschka, colega del joven médico Ignaz Semmelweis, por un corte sufrido durante una autopsia y con los mismos signos que las parturientas. Semmelweis concluyó que los estudiantes llevaban «partículas cadavéricas» de la sala de autopsias a la de partos. Desde mayo de 1847, la fecha que toma esta lámina, les obligó a lavarse las manos con solución de cloruro de cal, y en 1848 la mortalidad de su clínica bajó al 1,27 %. Muchos colegas rechazaron su explicación.

En 1854 John Snow relacionó un brote de cólera en Londres con una sola bomba de agua callejera. En el hospital militar de Escutari, donde trabajaba Florence Nightingale, la mortalidad de los soldados ingresados llegó al 42 % en febrero de 1855 y cayó después de que se repararan las cloacas y se ventilaran las salas.

A principios de la década de 1860, Louis Pasteur demostró que un caldo hervido en un matraz de cuello largo y curvado seguía transparente, mientras que el expuesto al polvo se estropeaba: eran gérmenes vivos los que causaban la putrefacción. En Glasgow, Joseph Lister dedujo que los gérmenes también hacían supurar las heridas. En agosto de 1865 curó con ácido fénico la fractura abierta de la pierna de un niño, que sanó sin infección; publicó el método en 1867. Entre sus amputados, las muertes bajaron de 16 en 35 a 6 en 40, cifras que él mismo reconocía pequeñas.

Charles Chamberland, colaborador de Pasteur, diseñó en 1879 un esterilizador de vapor, y en 1886 Ernst von Bergmann pasó en Berlín a los vendajes esterilizados con vapor. Los cirujanos mantenían ya los gérmenes fuera de la herida con instrumentos y batas esterilizados y, desde la década de 1890, con guantes de goma. Las directrices de la OMS de 2009 sobre higiene de manos fijan cinco momentos en que quien cuida a un paciente debe limpiarse las manos.

El matraz de cuello de cisne de Pasteur: el polvo queda atrapado en la curva y el caldo sigue transparente.

Cifras clave

Lavado de manos en Viena

Desde mayo de 1847; la mortalidad en la clínica de los médicos bajó de un 10 % aproximadamente (1840-1846) al 1,27 % en 1848

Higiene de manos (OMS)

40-60 s con agua y jabón, 20-30 s con solución hidroalcohólica

Hervir herramientas

20 min a hervor fuerte desinfectan, pero no matan con seguridad las esporas bacterianas

Amputaciones de Lister

16 muertes en 35 casos antes de la antisepsia, 6 en 40 después

Esterilización por vapor (CDC)

Material envuelto: 121 °C durante al menos 30 min en un esterilizador por gravedad, o 132 °C durante 4 min en uno de prevacío

Fuentes

1. Ignaz Phillip Semmelweis' studies of death in childbirth (I. Loudon, Journal of the Royal Society of Medicine, 2013) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3807776
2. Pioneering Hand Hygiene: Ignaz Semmelweis and the Fight Against Puerperal Fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
3. Joseph Lister (1827-1912): A Pioneer of Antiseptic Surgery (Cureus, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9854334/
4. Statistics and the British controversy about the effects of Joseph Lister's system of antisepsis for surgery, 1867-1890 (U. Tröhler) · James Lind Library https://www.jameslindlibrary.org/articles/statistics-and-the-british-controversy-about-the-effects-of-joseph-listers-system-of-antisepsis-for-surgery-1867-1890/
5. Charles Chamberland, l'inventeur d'outils de stérilisation · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/notre-histoire/charles-chamberland-inventeur-outils-sterilisation
6. Bergmann, Ernst von · Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/pnd118656104.html
7. Florence Nightingale: the Lady with the Lamp · National Army Museum https://www.nam.ac.uk/explore/florence-nightingale-lady-lamp
8. John Snow, cholera and the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
9. Hand Hygiene: Why, How & When? · World Health Organization https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/Hand_Hygiene_Why_How_and_When_Brochure.pdf
10. About handwashing · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/about/index.html
11. Handwashing facts · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/data-research/facts-stats
12. Steam sterilization · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/steam-sterilization.html
13. Clostridium botulinum · AGES, Austrian Agency for Health and Food Safety https://www.ages.at/en/human/disease/pathogens-from-a-to-z/clostridium-botulinum
14. A Community Guide to Environmental Health: Disinfecting with heat · Hesperian Health Guides https://en.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Disinfecting_with_Heat
15. Excreta, pit for stools and vomit · Médecins Sans Frontières https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
16. Cuts and grazes · NHS https://www.nhs.uk/conditions/cuts-and-grazes/

Datos verificados el 2026-10-14

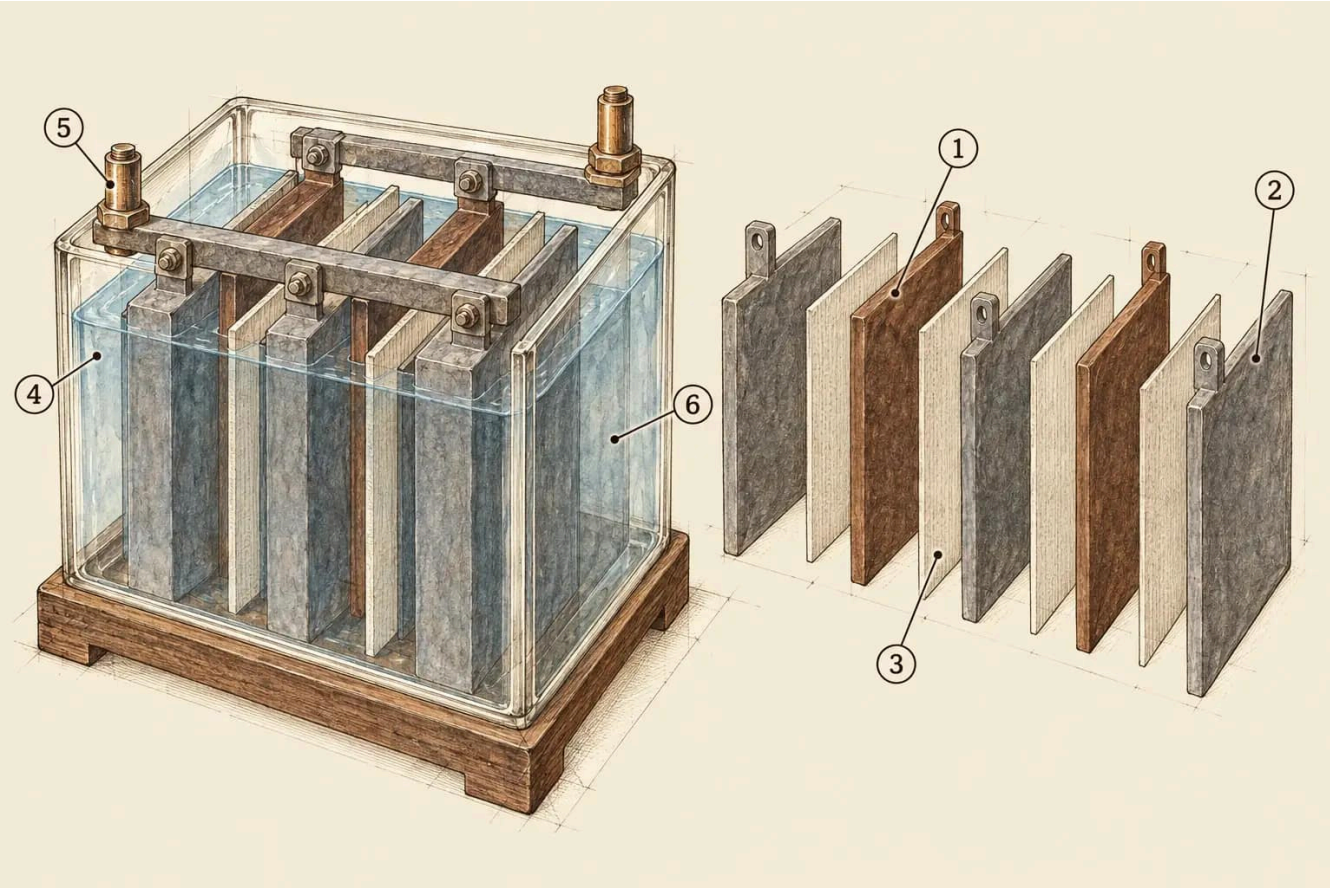
Batería de plomo-ácido

Electricidad guardada en plomo y ácido

1859 · Era industrial · Ciencia e industria

Requiere: Pila eléctrica (p. 239), Generador eléctrico (p. 273)

Conduce a: Aerogenerador (p. 339)



1 Placa positiva (dióxido de plomo) 2 Placa negativa (plomo esponjoso) 3 Separador 4 Electrolito (ácido sulfúrico diluido) 5 Puente de plomo y borne 6 Recipiente de vidrio

Una batería de plomo-ácido almacena electricidad en placas de plomo y de dióxido de plomo sumergidas en ácido sulfúrico diluido, la devuelve en forma de corriente y se puede recargar cientos de veces. Gaston Planté construyó la primera celda en 1859; las placas empastadas de Camille Faure la convirtieron en un producto industrial en 1881, y todavía arranca la mayoría de los coches del mundo.

Qué es

Una batería de plomo-ácido guarda la electricidad en forma química y la devuelve como corriente, cientos de veces seguidas. Cada celda contiene placas de plomo en ácido sulfúrico diluido y da unos dos voltios. Una batería de coche reúne seis celdas en serie dentro de una misma caja: doce voltios.

El físico francés Gaston Planté construyó en 1859 la primera celda recargable: se volvía a cargar haciendo pasar corriente en sentido contrario. En 1881 Camille Faure cambió la preparación de las placas recubriéndolas con

óxido de plomo, de modo que las celdas estaban listas antes y podían fabricarse en serie. La reacción interior sigue siendo la de Planté.

Cómo funciona

Las placas positivas (1) llevan dióxido de plomo, un polvo marrón oscuro. Las negativas (2) llevan plomo esponjoso, gris y lleno de poros para que el ácido alcance la mayor cantidad posible de metal. Los separadores (3) impiden que se toquen, y el electrolito (4), ácido sulfúrico diluido en agua, llena todos los huecos.

Una placa empastada: la pasta de óxido de plomo se aprieta dentro de una rejilla de plomo colado que la sujeta.

Durante la descarga, el plomo y el dióxido de plomo de las placas reaccionan con el ácido y se convierten en sulfato de plomo, mientras las rejillas de plomo conducen la corriente. Los electrones salen de la placa negativa y llegan a la positiva por el circuito exterior, donde alimentan la lámpara o el motor. La reacción consume ácido y produce agua, así que el electrolito se diluye a medida que la celda se vacía: en una batería de arranque su densidad relativa (respecto al agua) baja de unos 1,265 a unos 1,12.

La carga invierte la reacción. La corriente de un generador, de un panel solar o de un cargador conectado a la red devuelve el sulfato a plomo y dióxido de plomo, y el ácido regresa al líquido. Hacia el final queda poco sulfato y parte de la corriente descompone el agua: se desprende hidrógeno en las placas negativas y oxígeno en las positivas. Por eso las baterías abiertas pierden agua y los cuartos de carga necesitan ventilación.

La capacidad se mide en amperios-hora (Ah): una batería de 60 Ah entrega 3 A durante unas 20 horas, el periodo habitual de referencia, y menos si se descarga más deprisa. El sulfato que queda semanas sobre una placa descargada puede crecer en cristales duros que una carga normal quizá ya no deshaga, y las descargas profundas desgastan la materia activa. En una comparación de Battery University, una batería de arranque vaciada por completo cada vez duró entre 12 y 15 ciclos, frente a entre 130 y 150 cuando solo se usaba el 30 % de su carga.

Cómo hacerlo

Fabricar celdas obliga a manejar plomo fundido y ácido concentrado, así que esta sección trata de cómo elegir, cargar y cuidar una batería comprada.

Dimensionarla según el consumo. Una cabaña enciende cada día tres lámparas LED de 5 W durante cinco horas y una radio de 10 W durante tres: 75 + 30 = 105 vatios-hora, unos 9 Ah a 12 V. Cuente con dos días sin recarga (18 Ah) y no use más de la mitad de la capacidad: hacen falta al menos 36 Ah. Elija una batería de ciclo profundo de 40 a 50 Ah, porque el frío también reduce la capacidad.

Cargar a la tensión correcta. Use un cargador pensado para la tensión y el tipo de la batería (abierta, AGM o de gel) y siga el perfil de carga del fabricante. A unos 25 °C, una batería abierta de 12 V suele cargarse hasta 13,8–14,7 V según el modelo y después se mantiene a unos 13,5 V; un buen cargador ajusta la tensión de carga a la temperatura de la batería. Con un panel solar, ponga un regulador de carga entre el panel y la batería. Sea cual sea la fuente de carga, coloque un fusible adecuado al cable cerca del borne positivo y proteja cada circuito que alimente un aparato. Recargue poco después de cada uso y nunca cargue una batería congelada.

Comprobar el estado de carga. Deje la batería desconectada en reposo al menos cuatro horas, mejor un día, y mida la tensión entre los bornes. Como ejemplo, una batería de arranque a 26 °C, tras un día de reposo, marca

Se aprieta la pera, se aspira ácido de una celda y se mira a qué altura flota el flotador: cuanto más denso el ácido, más cargada la celda.

unos 12,65 V llena y unos 11,9 V vacía; cada modelo es distinto, así que use la tabla del fabricante. En las baterías abiertas, un densímetro mide cada celda: en esa misma batería, unos 1,265 llena y unos 1,12 vacía.

Rellenar solo con agua destilada. Añada agua destilada hasta la marca después de cargar, con la batería ya fría; si las placas quedan al descubierto antes de la carga, ponga solo lo justo para cubrirlas. Nunca añada ácido. Las baterías selladas AGM y de gel no necesitan agua.

Limpiar, guardar, reciclar. Cepille la costra de los bornes con agua y bicarbonato sódico sin que entre en las celdas, y después séquelos y engráselos. Guarde la batería cargada, en un lugar fresco y seco; compruebe su tensión más o menos cada mes y recárguela antes de que baje de unos 12,3 V, o del umbral que indique el fabricante, y al menos cada seis meses. Lleve la batería gastada a un vendedor o a un punto de recogida.

> **Seguridad.** El ácido de batería quema la piel y los ojos: use gafas de protección y guantes resistentes al ácido. Si salpica, enjuague con agua corriente durante al menos 30 minutos y busque atención médica. Al cargar se libera hidrógeno, que una chispa o una llama pueden inflamar: cargue en un lugar ventilado, no fume cerca y apague el cargador antes de poner o quitar las pinzas. En un coche, desconecte primero el cable unido a la carrocería (el negativo en casi todos los coches) y vuelva a conectarlo el último. Un cortocircuito hace pasar cientos de amperios y puede fundir una llave: use herramientas aisladas y quítese anillos y reloj. Una batería de coche puede pesar 15 kg o más: manténgala derecha y levántela con las piernas. El plomo es tóxico: lávese las manos después de manipularla, nunca queme una batería ni abra su caja (en una batería abierta, quite solo los tapones de llenado) y manténgala fuera del alcance de los niños.

Historia y evolución

Planté presentó sus celdas a la Academia de Ciencias de París en 1860: láminas de plomo separadas por tiras de caucho en ácido diluido, «formadas» invirtiendo la corriente una y otra vez hasta que su superficie se volvía porosa.

Mientras cargar significaba gastar pilas, los acumuladores no salieron del laboratorio; la dinamo cambió eso en la década de 1870. La pasta de Faure sustituyó meses de formación por una sola carga de unas sesenta horas. Las centrales eléctricas de las décadas de 1880 y 1890 conectaban baterías en paralelo con su red para absorber la punta de la tarde. A partir de 1893, más o menos, las centrales telefónicas alimentaron las líneas de los abonados con una batería central.

Hileras de celdas de vidrio mantenían en marcha centrales de alumbrado y centrales telefónicas durante las puntas y las averías.

Hacia 1900, los coches eléctricos, en su mayoría con baterías de plomo, eran cerca de un tercio de los vehículos en las carreteras de Estados Unidos. El arranque eléctrico de Charles Kettering, montado en el Cadillac de 1912, hizo innecesaria la manivela; a medida que lo adoptaron otras marcas, la batería de arranque pasó a ser equipo de serie. En Estados Unidos se recicla cerca del 99 % de las baterías de plomo, y las nuevas contienen más de un 80 % de material reciclado.

Cifras clave

Tensión de una celda

Unos 2,1 V en reposo con carga completa; seis celdas en serie forman una batería de 12 V

Tensión de carga

2,30–2,45 V por celda, luego unos 2,25 V por celda para mantenerla llena

Densidad relativa del ácido

Unos 1,265 cargada, unos 1,12 descargada (batería de arranque, tras 24 horas de reposo)

Reciclaje

El 99 % de las baterías de plomo se recicla en Estados Unidos (estudio del sector, datos hasta 2018)

Fuentes

1. Accumulator (1911 Encyclopædia Britannica) · Encyclopædia Britannica, 11th edition, via Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Accumulator
2. One of the First Rechargeable Batteries, about 1860 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36401/one-of-the-first-rechargeable-batteries-about-1860-lead-acid-rechargeable-batteries
3. Planté Battery – 1859 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery-1859/
4. BU-201: How does the Lead Acid Battery Work? · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work
5. BU-403: Charging Lead Acid · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid
6. BU-903: How to Measure State-of-charge · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge
7. BU-804b: Sulfation and How to Prevent it · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-804b-sulfation-and-how-to-prevent-it
8. Battery Charging – Industrial Lead-Acid Batteries · Canadian Centre for Occupational Health and Safety https://ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/battery-charging.html
9. Charging safely · Safety+Health, National Safety Council (NIOSH advice) https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/charging-safely-2
10. Lead Battery Industry Issues New National Recycling Rate Study · Battery Council International https://batterycouncil.org/news/lead-battery-industry-issues-new-national-recycling-rate-study/
11. The History of the Electric Car · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/history-electric-car
12. Switches, PBXs and Central Offices, chapter 12: power plants · TelephoneTribute.com https://www.telephonetribute.com/switches_survey_chapter_12.html
13. Lead poisoning and health · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health
14. Lead–acid battery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery

Datos verificados el 2026-10-14

V

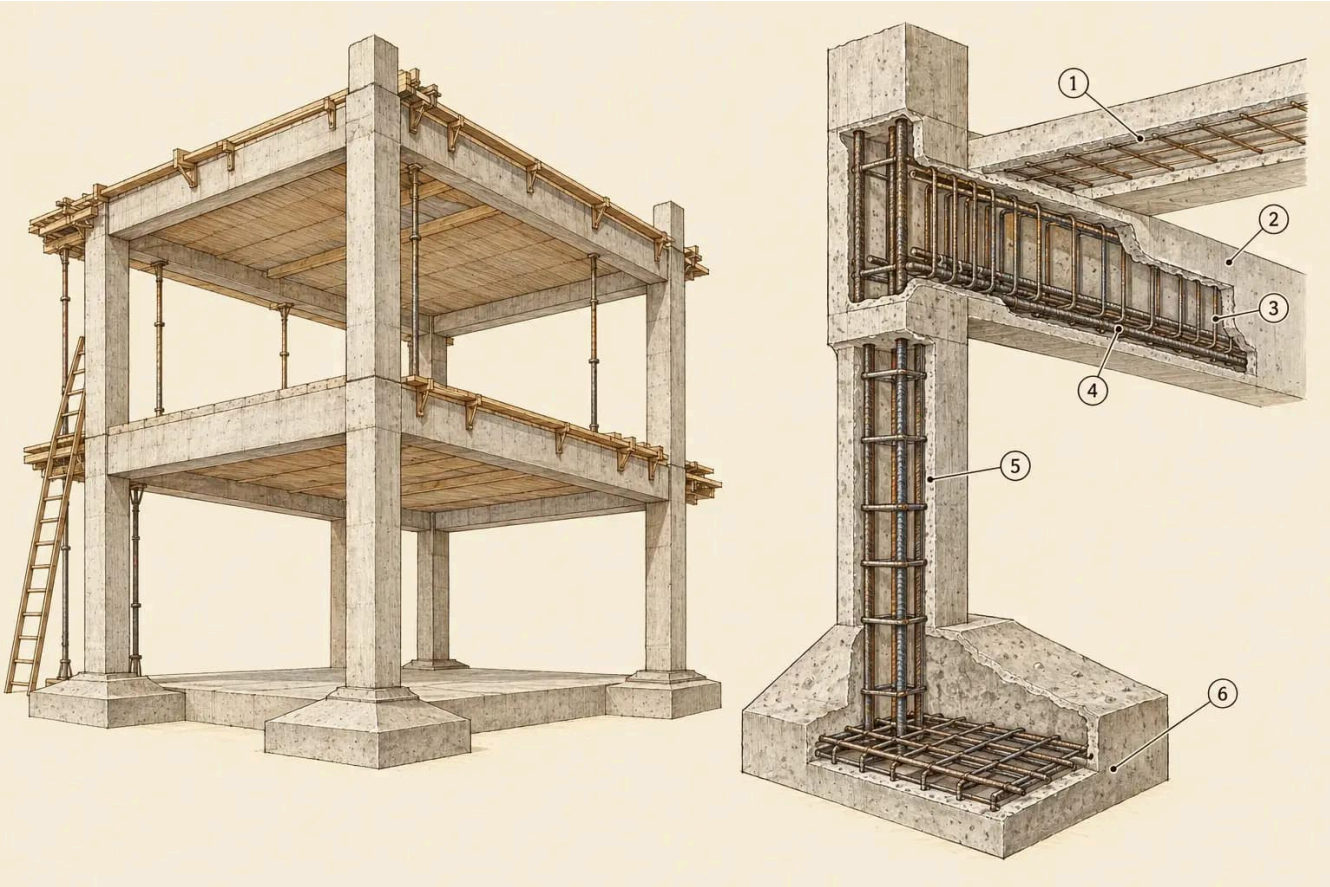
Era eléctrica

Hormigón armado

Acero a tracción, hormigón a compresión

h. 1848 · Era industrial · Era eléctrica

Requiere: Cemento Portland (p. 256), Acero (p. 140)



1 Losa de forjado 2 Viga 3 Cercos 4 Armadura principal en la cara traccionada 5 Pilar con cercos 6 Zapata

El hormigón armado es hormigón con barras de acero embebidas, colocadas donde la pieza va a estar traccionada. El hormigón soporta la compresión y el acero la tracción, de modo que una viga o una losa plana puede salvar un hueco donde el hormigón solo o la piedra se agrietarían.

Qué es

El hormigón aguanta muy bien el aplastamiento y muy mal el estiramiento: su resistencia a tracción ronda la décima parte de su resistencia a compresión. Una viga de hormigón sin armar, como un dintel de piedra, se agrieta por su cara inferior estirada con una carga modesta. Por eso los constructores romanos cubrían los vanos con arcos, bóvedas y cúpulas, formas que trabajan casi solo a compresión.

El hormigón armado pone acero donde la pieza se estira. Las barras situadas en la parte baja de una viga toman la tracción, y el hormigón de encima, la compresión. Juntos se vierten en losas, vigas, pilares, zapatas, muros, depósitos y puentes.

Cómo funciona

Bajo carga, una viga se flecta: la parte de arriba se acorta, la de abajo se alarga y se abre en fisuras finas como un pelo, y desde ese momento son las barras inferiores las que resisten. Sobre los apoyos intermedios de una viga continua, y en un voladizo, la cara traccionada queda arriba, así que la armadura principal va arriba. Una losa apoyada en sus cuatro lados flecta en dos direcciones y lleva una malla; una que trabaja en una sola dirección lleva igualmente barras más ligeras en sentido transversal, contra las fisuras de retracción. Cerca de los apoyos la viga tiende además a fisurarse en diagonal; unos lazos cerrados de barra más fina, los cercos, cruzan esas fisuras y se colocan allí más juntos. Los pilares trabajan sobre todo a compresión, y los cercos que rodean sus barras verticales impiden que estas se abran hacia fuera.

La unión funciona por tres razones. El acero y el hormigón se dilatan con el calor casi lo mismo, entre 10 y 12 millonésimas por grado Celsius. Las corrugas laminadas en las barras modernas se traban en el hormigón y transmiten el esfuerzo de uno a otro. Y el agua de los poros del hormigón es muy alcalina, en torno a pH 12,5 a 13, lo que recubre el acero de una fina película de óxido que detiene la corrosión.

Esa protección dura lo que dura el recubrimiento, el hormigón que queda por fuera de las barras. El dióxido de carbono del aire lo neutraliza poco a poco por carbonatación, y la sal marina o la de deshielo introduce cloruros. Cuando llega suficiente cantidad al acero, con humedad y oxígeno, la barra se oxida. El óxido ocupa varias veces el volumen del acero que sustituye: agrieta el recubrimiento y lo hace saltar en lajas. Estos desconchones empiezan donde el recubrimiento es fino o poroso. La norma estadounidense ACI 318 pide unos 38 mm de recubrimiento en barras finas a la intemperie y 75 mm cuando el hormigón se vierte contra el terreno.

El óxido se hincha al formarse y arranca el hormigón demasiado fino que cubre la barra.

El hormigón pretensado va más lejos: unos alambres de acero de alta resistencia, tensados y anclados al hormigón, comprimen la pieza de antemano. Bajo carga, su cara inferior sufre poca o ninguna tracción, y se pueden hacer vigas más largas y esbeltas.

Cómo construirlo

Se trata de un pequeño dintel prefabricado para un hueco de 0,9 m como máximo en un murete de jardín, bajo unas pocas hiladas de bloques, sin forjado ni cubierta. Todo elemento que soporte personas o parte de un edificio, incluido el dintel de una vivienda, o cuya caída pueda herir a alguien, debe calcularlo un ingeniero según la normativa local, o comprarse como producto certificado.

Hacer el molde. Sobre suelo llano, atornillar tablas formando una caja abierta de 1,2 m de largo y 150 × 150 mm de sección interior, para que el dintel apoye 150 mm en cada extremo. Aceitar las caras interiores y sujetar los laterales con estacas para que el hormigón fresco no los abra.

Colocar el acero. Cortar dos barras corrugadas de 10 mm a 1,1 m, lo que deja 50 mm de hormigón en cada extremo. Apoyarlas en separadores de plástico de 40 mm, a 40 mm de los laterales, y atarlas con alambre para que no se muevan durante el vertido. Usar barras enteras. En obras mayores, las barras se empalman solapándolas en una longitud que fija el cálculo, al menos 500 mm en las losas de viviendas australianas.

Verter, compactar y curar. Amasar el hormigón como se explica para el cemento Portland, con grava de 10 mm como máximo. Llenar en dos capas, picar cada una alrededor de las barras y golpear las tablas para sacar el aire.

Las barras descansan sobre separadores: el hormigón pasa por debajo y las envuelve.

Marcar una flecha en la cara superior: colocado al revés, el dintel tendría el acero en la cara comprimida. Mantenerlo húmedo bajo un plástico al menos 7 días, más si hace frío.

Colocarlo. El dintel pesa unos 65 kg: moverlo entre dos personas a ras de suelo, o con una ayuda mecánica por encima de la cintura, y asentarlo sobre una cama de mortero, con el acero abajo. No construir encima hasta unos 28 días después, cuando el hormigón se acerca a su resistencia prevista.

Ver la tracción en acción. Hacer tres barritas de mortero de 50 × 50 × 500 mm, una sin armar y dos con un alambre de acero de 4 mm a 15 mm de una cara. A la semana, apoyar cada una sobre dos ladrillos separados 400 mm, en el suelo, poner una tablilla atravesada en el centro y apilar ladrillos encima uno a uno. La barrita sin armar se parte de golpe; la que lleva el alambre abajo se fisura por debajo, se flecta y aguanta mucho más; probada con el alambre arriba, la tercera rompe casi como la que no tiene armadura.

> **Seguridad.** El cemento fresco es muy alcalino y quema la piel contra la que queda atrapado: use guantes impermeables, manga larga y gafas de protección, y lave enseguida las salpicaduras. Corte el acero con cizalla o amoladora solo con gafas y guantes, lejos de cualquier cosa que pueda arder. Apuntale todo molde; un encofrado que sostiene hormigón en altura es trabajo de profesionales, porque puede hundirse bajo el peso del vertido. Durante el ensayo de carga, lleve gafas, colóquese a un lado y mantenga los pies lejos de la carga.

Historia y evolución

En 1848 Joseph-Louis Lambot hizo flotar una barca de cemento sobre malla de hierro en el estanque de su finca de Miraval, en el Var. La patentó en 1855 y ese mismo año expuso otra en París; la primera se conserva en el museo de Brignoles. Esta lámina toma 1848, fecha de esa barca, uno de los primeros ejemplos conservados de hierro y cemento trabajando juntos. En 1854, en Inglaterra, William Boutland Wilkinson, de Newcastle, patentó forjados armados con hierro.

La barca de Lambot: una fina cáscara de cemento sobre una retícula de hierro.

Joseph Monier, jardinero en París, patentó el 16 de julio de 1867 macetones y depósitos armados, y después puentes en 1873 y vigas en 1878. En Alemania, Gustav Adolf Wayss compró sus patentes y construyó más de 300 puentes en arco entre 1887 y 1891. En 1892 François Hennebique patentó una estructura completa de pilares, vigas y losas, que ejecutaban constructores con licencia. En Estados Unidos, Ernest Ransome patentó una barra retorcida en 1884, y el Ingalls Building de Cincinnati alcanzó 16 plantas en 1903.

El puente de Salginatobel de Robert Maillart (1930) salva un barranco suizo con un arco hueco de 90 m, de solo 20 cm de espesor en la clave. Eugène Freyssinet patentó el pretensado en 1928 y en 1934 lo usó para salvar la estación marítima de El Havre, que se hundía en la arcilla.

Un informe de Chatham House de 2018 cifra la producción mundial de cemento en más de 4000 millones de toneladas al año, en su mayoría para hormigón, y su parte de las emisiones mundiales de CO_2 en cerca del 8 %.

Cifras clave

El hormigón a tracción

Alrededor del 10 % de su resistencia a compresión

Agua de los poros junto a las barras

pH 12,5 a 13, que protege el acero de la oxidación

Primeros hitos

La barca de Lambot, 1848; primera patente de Monier, 16 de julio de 1867

Dilatación térmica

Unas 10 millonésimas por °C el hormigón, 11 a 12 el acero

Recubrimiento mínimo (ACI 318)

Unos 38 mm en barras finas a la intemperie, 75 mm contra el terreno

Fuentes

1. Joseph Monier et l'invention du béton armé (B. Lemoine, 2023) · Association française de génie civil (AFGC) https://www.afgc.asso.fr/app/uploads/2026/03/JosephMONIER_InventionBeton.pdf
2. The Construction Industry enters the 20th Century (R. Day, 1980) · Bristol Industrial Archaeological Society Journal 13 https://b-i-a-s.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/BIAS_Journal_13_FERRO_CONCRETE.pdf
3. The Invention of Reinforced Concrete (1848–1906) (Moussard, Garibaldi & Curbach, 2018) · TU Dresden, in High Tech Concrete (Springer) https://fis.tu-dresden.de/portal/en/publications/the-invention-of-reinforced-concrete-1848--1906(8f5281e9-99eb-4cdd-9eff-3687b595367f).html
4. Maison de Joseph Lambot à Montfort-sur-Argens · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/ot_campslasource/patrimoine-montfort-sur-argens-maison-de-joseph-lambot_1679.html
5. Musée des Comtes de Provence, Brignoles · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/activites/patrimoine-brignoles-musee-des-comtes-de-provence_435.html
6. Why is reinforced concrete used? · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=666
7. Concrete cover for members cast against earth (ACI 318-19) · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=903
8. Beam reinforcement detailing per ACI 318-19 (cover table) · ideCAD documentation https://help.idecad.com/ideCAD/beam-reinforcement-detailing
9. What stops the reinforcing steel in damp, porous concrete from corroding (usually)? (J. Broomfield) · Institute of Corrosion https://www.icorr.org/?p=22054
10. Thermal expansion and contraction of concrete · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/cracking/thermalexpansioncontraction/example.htm
11. Principles of reinforced concrete: objective of the steel-concrete combination (W. Pauchet, 2021) · Techniques de l'Ingénieur https://www.techniques-ingenieur.fr/en/resources/article/ti264/principles-of-reinforced-concrete-tba1024/objective-of-the-steel-concrete-combination-2
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Concrete slab reinforcement: lapping · RMIT University Learning Lab https://learninglab.rmit.edu.au/Toolbox/buildright/content/bcgbc4010a/10_floor_systems/03_concrete_slab_reinforcement/page_006.htm
14. Ingalls Building · American Society of Civil Engineers https://asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/ingalls-building
15. Alvord Lake Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/alvord-lake-bridge
16. Salginatobel Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/salginatobel-bridge
17. World Monument Salginatobel Bridge, technical profile · Schiers Tourism https://www.salginatobelbridge.com/s/English_Flyer.pdf
18. The Story of Eugène Freyssinet (K. Shushkewich, 2010) · ASPIRE, The Concrete Bridge Magazine https://www.aspirebridge.com/magazine/2010Fall/Perspective_Fall10.pdf
19. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
20. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm

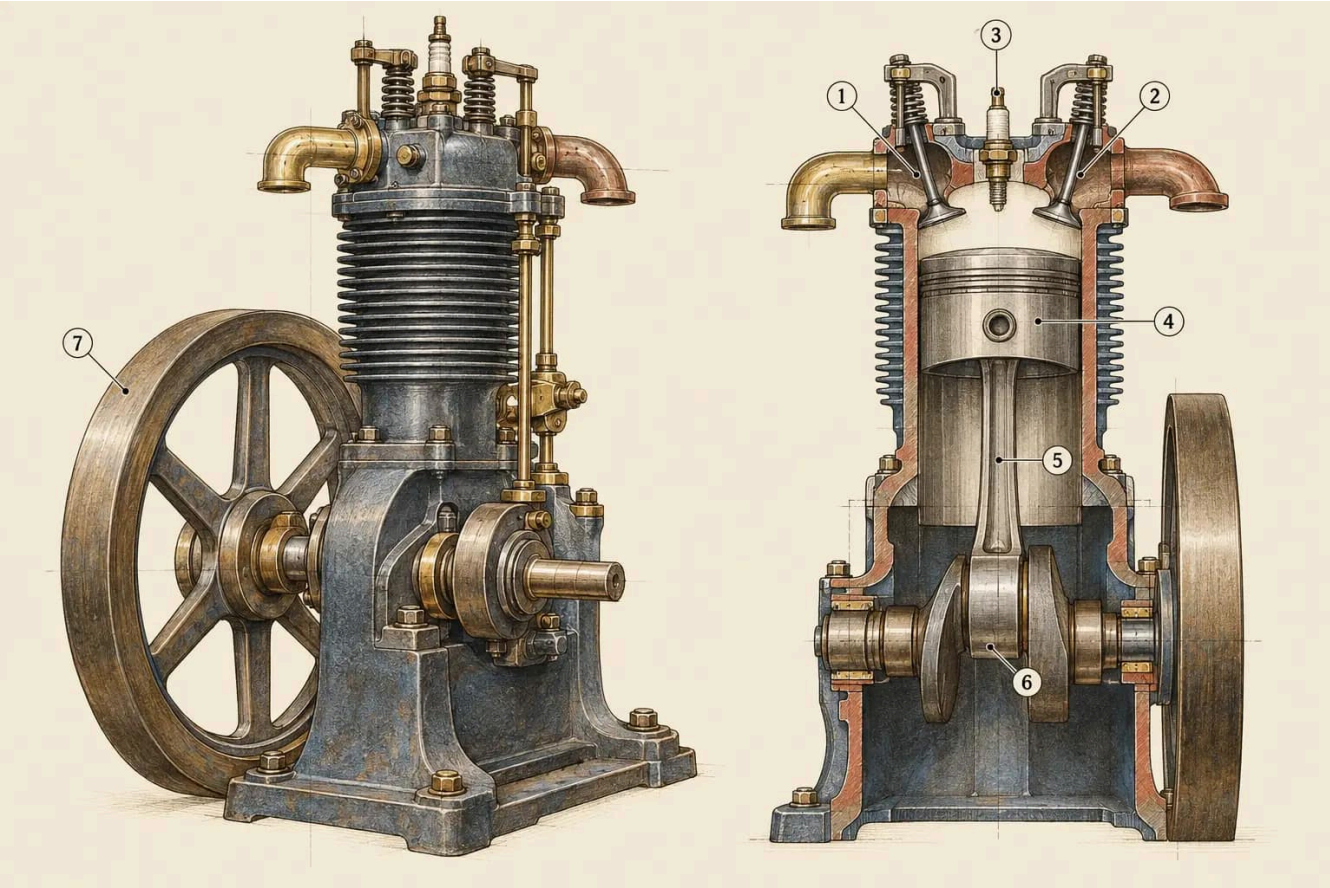
Datos verificados el 2026-10-14

Motor de combustión interna

Pequeñas explosiones, potencia constante

1876 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Máquina de vapor (p. 226), Reducción del hierro (p. 136), Acero (p. 140), Destilación (p. 173)
Conduce a: Avión (p. 352)



1 Válvula de admisión 2 Válvula de escape 3 Bujía 4 Pistón 5 Biela 6 Cigüeñal 7 Volante de inercia

Un motor de combustión interna quema el combustible dentro de un cilindro cerrado; el gas caliente empuja un pistón que hace girar un cigüeñal. El motor de gas de cuatro tiempos de Nicolaus Otto, de 1876, fijó el esquema que siguen todavía la mayoría de los motores de coches, barcos y grupos electrógenos.

Qué es

Un motor de combustión interna produce el calor dentro de la propia máquina. La máquina de vapor quema su combustible bajo una caldera aparte y manda el vapor al cilindro. Aquí, una pequeña carga de aire y combustible arde en el cilindro, y el gas que se forma empuja directamente un pistón.

El motor de la lámina es un monocilindro vertical como los que se construían en las décadas de 1880 y 1890: un cilindro de hierro fundido con aletas de refrigeración, un pistón que se desliza en su interior, un cigüeñal debajo y un pesado volante que mantiene el giro del eje entre una explosión y la siguiente. Los motores de automóvil

actuales tienen varios cilindros y aleaciones más ligeras, pero siguen convirtiendo el empuje sobre un pistón en giro mediante una biela y un cigüeñal.

Cómo funciona

El pistón es un tapón bien ajustado que sube y baja dentro del cilindro. Una biela lo une a una muñequilla del cigüeñal, de modo que el vaivén del pistón se convierte en giro, igual que las rodillas de un ciclista hacen girar los pedales.

Unos aros elásticos alojados en ranuras alrededor del pistón lo sellan contra la pared del cilindro.

La mayoría de los motores siguen el ciclo de cuatro tiempos que Otto llevó a la práctica. En un motor de encendido por chispa como el del dibujo, funciona así. En el primer tiempo, el pistón baja con la válvula de admisión abierta y aspira una mezcla de aire y combustible. En el segundo, las dos válvulas están cerradas y el pistón sube, comprimiendo la mezcla en un espacio pequeño en lo alto del cilindro. Cerca del punto más alto, una chispa la enciende (en los primeros motores era una llama o un tubo al rojo). El gas se calienta muy deprisa y empuja el pistón hacia abajo: este tercer tiempo es el único que produce trabajo. En el cuarto se abre la válvula de escape y el pistón, al subir, expulsa los gases quemados.

El cigüeñal da dos vueltas por cada tiempo de trabajo, y el volante almacena energía suficiente para pasar los otros tres. Un árbol de levas que gira a la mitad de velocidad que el cigüeñal abre cada válvula en el momento justo.

La compresión fue lo que dio ventaja al motor de Otto. Una mezcla comprimida antes de arder libera su calor a mayor presión, y una parte mayor de ese calor se convierte en trabajo. Rudolf Diesel llevó la idea más lejos en la década de 1890: comprimía solo aire hasta que estaba lo bastante caliente para inflamar el combustible inyectado, sin ninguna chispa.

Cómo construirlo

Un motor que funcione es trabajo de precisión. Hacen falta una fundición, un torno y una mandrinadora, instrumentos de medida que aprecien la centésima de milímetro y un combustible fiable. Lo que sigue describe cómo se fabricaban históricamente las piezas; no es un plano de construcción.

Fundir el cilindro y la bancada. Los primeros fabricantes fundían el cilindro y la base en fundición gris, que se mecaniza bien y resiste el desgaste. Después se mandrinaba el cilindro perfectamente redondo y recto. La camisa de agua o las aletas formaban parte de la misma pieza.

Hacer el pistón y los segmentos. El pistón, de hierro fundido y más tarde de aluminio, se torneaba un poco más pequeño que el cilindro. Unos aros partidos de hierro elástico van en ranuras a su alrededor y empujan hacia fuera contra la pared para que el gas no se escape.

Forjar el cigüeñal y la biela. Son las piezas que soportan más esfuerzo. Se forjaban en acero, se torneaban y se montaban sobre cojinetes de bronce o metal antifricción.

Ajustar la distribución y el encendido. Las levas, y más tarde la magneto o la bobina que produce la chispa, tienen que actuar en el punto exacto del ciclo. Un error hace que el motor funcione mal o que dé un contragolpe.

Alimentarlo y refrigerarlo. Los motores de Otto funcionaban con gas de alumbrado. Los de gasolina necesitaron un carburador para mezclar aire y combustible en la proporción adecuada. Todo motor necesita refrigeración por agua o por aire, y aceite para que las piezas móviles no se agarroten.

> **Seguridad.** El combustible y sus vapores se inflaman con facilidad y pueden explotar en un espacio cerrado. Los gases de escape contienen monóxido de carbono, que mata sin olor ni aviso: nunca haga funcionar un motor en interiores ni en espacios parcialmente cerrados, aunque haya puertas y ventanas abiertas. El volante, las correas y la manivela de arranque pueden romper huesos, y un contragolpe al arrancar a mano puede causar lesiones graves. Las piezas calientes y el agua de refrigeración a presión causan quemaduras.

Historia y evolución

Motores de gas fijos como este movían la maquinaria de los talleres antes de que se generalizaran los vehículos a motor.

Desde hacía dos siglos se intentaba mover un pistón con una explosión. Christiaan Huygens hizo pruebas con pólvora en la década de 1670, y en 1807 el suizo François Isaac de Rivaz patentó un motor de hidrógeno que más tarde montó en un pequeño carro. El primer motor vendido en cantidad fue el motor de gas de Étienne Lenoir, de 1860. Parecía una máquina de vapor de doble efecto, pero quemaba la mezcla sin comprimirla y desperdiciaba la mayor parte del combustible.

Nicolaus Otto, viajante de comercio de Colonia, encargó en 1861 a un mecánico local, Michael Zons, un motor según el modelo de Lenoir para estudiarlo. Con el ingeniero Eugen Langen construyó un motor «atmosférico» que ganó una medalla de oro en la Exposición Universal de París de 1867; se fabricaron varios miles. En 1876 Otto construyó su motor de cuatro tiempos con compresión. El francés Alphonse Beau de Rochas había descrito el mismo ciclo en un folleto de 1862, y por ese motivo la patente alemana de Otto fue anulada en 1886, lo que dejó a otras empresas libres de fabricar el diseño.

Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, que habían trabajado ambos en la empresa de Otto, construyeron en 1885 un motor pequeño y rápido que giraba a varios cientos de vueltas por minuto. Así los motores fueron lo bastante ligeros para un vehículo. Ese mismo año Carl Benz terminó su coche de tres ruedas y solicitó la patente en enero de 1886.

El coche de Benz llevaba un monocilindro de cuatro tiempos de menos de un litro.

En 1897, en Augsburgo, el motor de Diesel alcanzó un rendimiento del 26,2 % en una prueba, más del doble que las máquinas de vapor de la época. En el siglo XX los motores de combustión interna se impusieron en el transporte por carretera, la agricultura, la navegación y los primeros aviones. Los motores eléctricos los están sustituyendo en muchos coches, pero la mayoría de los motores de combustión que se fabrican hoy siguen la secuencia de cuatro tiempos que Otto puso en marcha en 1876.

Cifras clave

Primer motor de cuatro tiempos de Otto

1876, unos 3 CV a 180 rpm

Motor de pruebas de Diesel

Rendimiento del 26,2 %, 17 de febrero de 1897

Tiempos de trabajo (motor de cuatro tiempos)

Uno por cilindro cada dos vueltas del cigüeñal

Fuentes

1. Replica Otto four-stroke engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8405692/replica-otto-four-stroke-engine-internal-combustion-engine
2. Nikolaus August Otto · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/nikolaus-august-otto
3. Early history of the diesel engine · DieselNet https://www.dieselnet.com/tech/diesel_history.php
4. Otto engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_engine

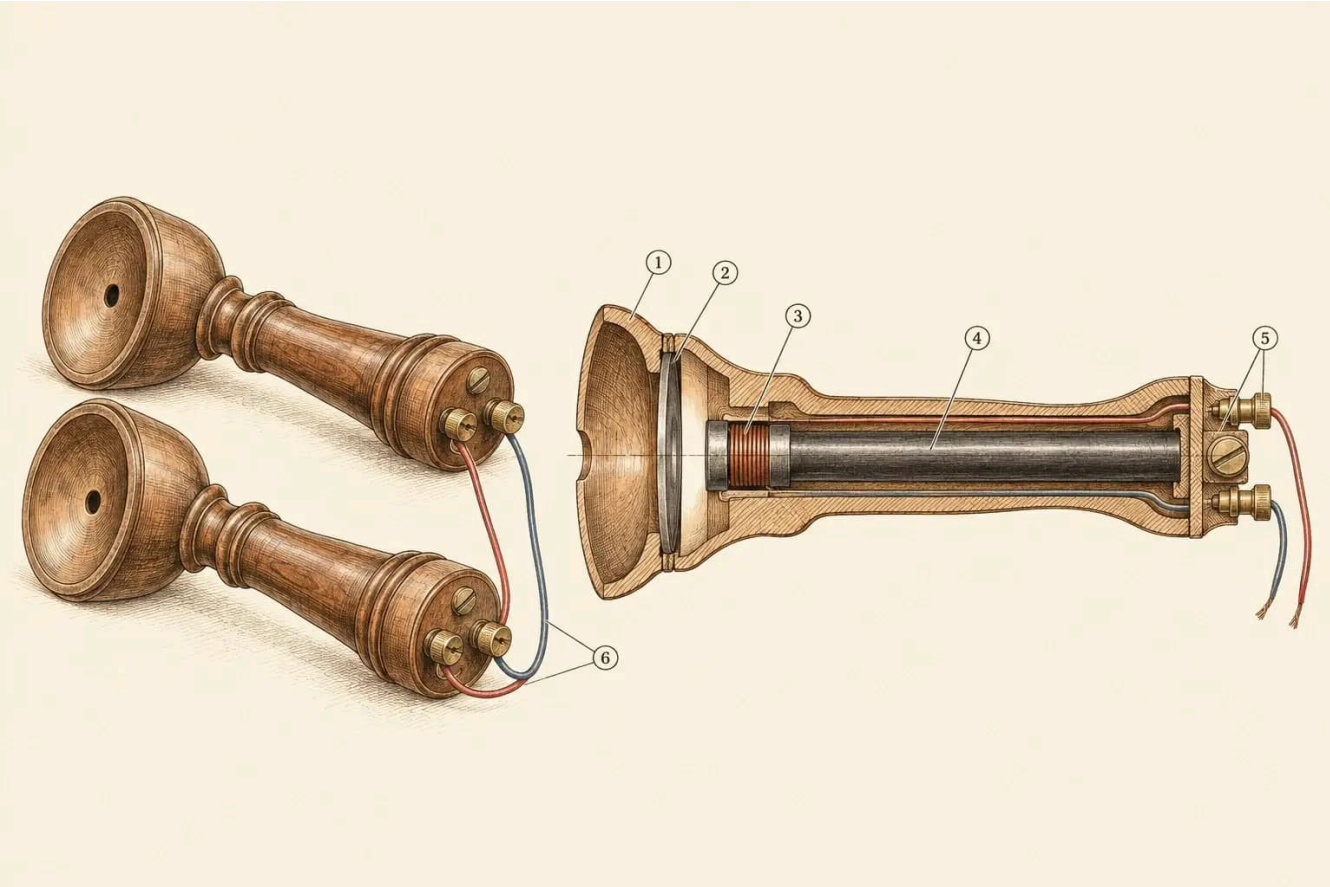
Datos verificados el 2026-10-11

Teléfono

Una voz llevada por un cable

1876 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Telégrafo eléctrico (p. 285)



1 Boquilla y auricular 2 Membrana de hierro 3 Bobina 4 Imán de barra 5 Bornes 6 Hilo de línea

El teléfono convierte las vibraciones de la voz en una corriente eléctrica variable, la envía por un hilo y la vuelve a convertir en sonido en el otro extremo. Alexander Graham Bell lo patentó en marzo de 1876; dos años después sus teléfonos magnéticos se usaban comercialmente, y el micrófono de carbón y las centrales lo convirtieron pronto en un servicio público.

Qué es

Un teléfono transporta la propia voz por un par de hilos. Un transmisor convierte las ondas de presión de la voz en una corriente eléctrica cuya intensidad sigue las variaciones de la presión sonora; un receptor, en el otro extremo, usa esa corriente para mover una placa fina y recrear el sonido.

La lámina muestra uno de los teléfonos de mano de Bell de 1877 y 1878, un instrumento de madera torneada apodado butterstamp porque recordaba a un sello para mantequilla. El mismo aparato servía para hablar y para escuchar, y funcionaba sin pila: la propia voz producía la corriente.

Cómo funciona

Dentro de la caja de madera del butterstamp, un imán de barra de acero recorre todo el mango. En su extremo delantero hay una corta pieza polar de hierro dulce rodeada por una bobina de hilo de cobre fino y aislado. Justo delante del polo, separado de él por una ranura de una fracción de milímetro, un fino disco de hierro, la membrana, está sujeto por el borde detrás de la boquilla. Los dos extremos de la bobina salen a unos bornes en la parte trasera, y de allí parte un par de hilos hacia el otro teléfono.

El teléfono de cordel transmite el sonido de forma mecánica: la voz hace vibrar el fondo de una lata y el cordel tenso hace vibrar el de la otra.

Cuando alguien habla en la boquilla, la presión del aire sobre la membrana sube y baja, y el disco se curva hacia dentro y hacia fuera muy poco. Cada vez que se acerca al polo, pasa por el hierro una parte mayor del campo del imán; cada vez que se aleja, una menor. Un campo magnético variable en una bobina genera en ella una tensión, así que la bobina envía por la línea una corriente alterna débil que sigue la forma de la onda sonora.

En el micrófono de carbón, la membrana comprime una cápsula de granos de carbón, de modo que la corriente de una pila varía con la voz.

En el otro extremo, la misma corriente recorre la bobina del segundo teléfono. Refuerza o debilita la atracción del imán permanente sobre la membrana de ese aparato, que se mueve así al compás de la del que habla y hace vibrar el aire delante de ella. Toda la energía sale de la voz, por eso el sonido es débil y el alcance corto. Desde finales de la década de 1870, los teléfonos incorporaron un micrófono de carbón: la membrana presiona el carbón, cuya resistencia eléctrica baja al comprimirlo, de manera que la voz hace variar la corriente de una pila en vez de producirla. La señal resultaba mucho más fuerte.

Cómo construirlo

Dos altavoces pequeños muestran el mismo principio, el paso reversible entre sonido, movimiento y corriente. Están construidos de otra manera que el aparato de Bell: en un altavoz la bobina va unida a la membrana y se mueve con ella en el campo de un imán, mientras que en el butterstamp la bobina y el imán quedan quietos y solo se mueve la membrana de hierro. Unidos entre sí, dos altavoces forman un teléfono sin pila.

Reunir el material. Hacen falta dos altavoces pequeños iguales, de 8 ohmios y de 5 a 8 cm de diámetro, comprados sueltos o sacados de juguetes de pilas después de quitarles las pilas (nunca de radios ni de otros aparatos que funcionan con la red, ni siquiera desenchufados: algunas piezas siguen cargadas), y unos metros de cable de timbre doble o de cable de altavoz.

Cablear. Pele un centímetro de cada extremo del cable. Una un conductor al primer borne de cada altavoz y el otro conductor al segundo borne de cada uno, con bornes de tornillo o retorciendo y encintando los empalmes.

Hablar. Empiece con un cable corto y luego tiéndalo entre dos habitaciones con la puerta cerrada, para que su compañero no le oiga directamente. Hable fuerte y muy cerca de una membrana mientras él se acerca el otro altavoz al oído; después desconecte un hilo y repita para comprobar que el sonido pasa de verdad por la línea.

Espere una voz débil; el resultado depende de los altavoces: si no llega nada, acorte el cable o pruebe altavoces de otro tamaño. Cambien los papeles: cada altavoz hace de transmisor y de receptor, como el butterstamp.

Comparar. Haga también un teléfono de cordel con dos latas o vasos de cartón y unos metros de cordel anudado por un agujero en el fondo de cada uno. Mantenga el cordel tenso y lejos de obstáculos, y compare los dos.

> **Seguridad.** Este circuito no necesita pila y no debe conectarse nunca a la red eléctrica ni a una línea telefónica, que llevan tensiones peligrosas. Las latas abiertas tienen bordes cortantes: límelos o cúbralos con cinta. No grite directamente al oído de nadie a través de ninguno de los dos teléfonos.

Historia y evolución

Antes de Bell, varios inventores intentaron transmitir la voz por electricidad. En 1861 Philipp Reis presentó en Fráncfort un aparato al que llamó teléfono, pero que no pasó de curiosidad. Antonio Meucci presentó en 1871 un aviso previo de patente para un «telégrafo sonoro» y lo dejó caducar en 1874; su prioridad sigue discutiéndose.

Bell, que trabajaba entonces en Boston, presentó su solicitud de patente el 14 de febrero de 1876, el mismo día en que Elisha Gray presentaba un aviso previo con una idea parecida, y sigue discutido cuál de los dos documentos llegó primero. La patente n.º 174 465 se concedió el 7 de marzo. Tres días después, con un transmisor de líquido, Bell dirigió su primera frase claramente inteligible a su ayudante Thomas Watson. Pronto abandonó el transmisor de líquido por el teléfono magnético, patentado el 30 de enero de 1877. El 12 de febrero de 1877, un público reunido en Salem oyó a un orador que hablaba desde Boston, a unos 26 km.

El transmisor de líquido de Bell, marzo de 1876: la voz hace vibrar la membrana, el hilo se hunde más o menos en el agua acidulada y la corriente varía.

Thomas Edison ideó un transmisor de carbón en 1877, y Henry Hunnings, en Inglaterra, usó carbón en granos. La primera central comercial abrió en New Haven, Connecticut, el 28 de enero de 1878, con 21 abonados conectados a mano en un conmutador. Las centrales automáticas de Almon Strowger permitieron después a los abonados establecer ellos mismos sus comunicaciones, algo que el disco numerado facilitó desde 1896. En la década de 1950 Estados Unidos tenía más de la mitad de los teléfonos del mundo.

Cifras clave

Patente de Bell
N.º 174 465, solicitada el 14 de febrero de 1876, concedida el 7 de marzo de 1876

Teléfono magnético sin pila
Patente estadounidense n.º 186 787, 30 de enero de 1877

Primera frase inteligible de Bell
10 de marzo de 1876, Boston: «Mr. Watson, come here, I want to see you» (cuaderno de Bell)

Primera central comercial
New Haven, 28 de enero de 1878: 21 abonados a 1,50 dólares al mes

Fuentes

1. Telephone · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telephone
2. Early telephone by Alexander Graham Bell, 1877 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32960/early-telephone-by-alexander-graham-bell-1877
3. US186787A: Improvement in electric telegraphy (A. G. Bell, 1877) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US186787A/en
4. First Commercial Telephone Exchange – Today in History: January 28 · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/the-first-commercial-telephone-exchange-today-in-history
5. Telephone · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Telephone
6. Replica of Bell's liquid transmitter of March 1876 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co33314/replica-of-bells-liquid-transmitter-of-march-1876-1880-1958-telephone
7. The Telephone: a lecture entitled Researches in Electric Telephony (A. G. Bell, Society of Telegraph Engineers, 1877) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/55787
8. Some experiments with the telephone (Lord Rayleigh, Scientific Papers) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/abs/scientific-papers/some-experiments-with-the-telephone/3FE1242F3DA62548052EB38CDF24909D
9. Vibration of Plates (A. W. Leissa, NASA SP-160, 1969) · NASA https://ntrs.nasa.gov/citations/19700009156
10. Early receivers · Telephone Collecting https://telephonecollecting.org/Bobs%20phones/Pages/Essays/Early%20Receivers/Early%20Receivers.htm
11. Copper Wire Tables (NBS Handbook 100, 1966) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
12. US7760869B2: Method and apparatus for controlling the transmit volume level of a speakerphone (mouth reference point and TIA-810-B test level) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US7760869B2/en

Datos verificados el 2026-10-12

Bombilla incandescente

Un filamento brillante en el vacío

1879 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Generador eléctrico (p. 273), Vidrio (p. 132)

1 Ampolla de vidrio 2 Filamento de carbono 3 Hilos de platino 4 Pie de vidrio sellado 5 Punta de vaciado 6 Casquillo de rosca

Una bombilla incandescente produce luz haciendo pasar corriente por un filamento fino hasta ponerlo al rojo blanco, dentro de una ampolla de vidrio sin aire para que el filamento no se queme. Joseph Swan y Thomas Edison la hicieron utilizable en 1879, y alumbró casas y calles durante más de un siglo.

Qué es

La bombilla incandescente es una ampolla de vidrio con un hilo muy fino dentro, el filamento, que brilla al paso de la corriente. Antes, las casas se alumbraban con llamas: velas, lámparas de aceite y mecheros de gas, que humeaban y a menudo causaban incendios. Existían lámparas de arco eléctrico, pero daban demasiada luz para una habitación.

La lámpara de la lámina es del tipo que fabricaba la empresa de Edison a principios de la década de 1880. Sus descendientes fueron la lámpara doméstica habitual casi todo el siglo XX, hasta que las fluorescentes compactas y luego las LED la sustituyeron.

Cómo funciona

Todo material calentado lo suficiente emite luz. La resistencia eléctrica convierte en calor la energía de la corriente, y un filamento fino pasa del rojo apagado al naranja y luego al blanco. Cuanto más caliente, más blanca la luz y mejor el rendimiento, pero antes se evapora el filamento.

Al aire, un hilo de carbono o metal al rojo blanco se quema en instantes; por eso se vacía la ampolla o, más tarde, se llena de un gas que no reacciona. La bomba se conecta por un tubo estrecho en lo alto, que luego se cierra a la llama: es la pequeña punta de vaciado de las bombillas antiguas.

Los hilos que llevan la corriente al filamento deben atravesar el vidrio. Vidrio y metal se dilatan de forma distinta, y un mal sellado se agrieta al calentarse la lámpara. El platino se dilata casi igual que el vidrio de las primeras bombillas, que por eso llevaban hilos cortos de platino a través de un pie de vidrio, unidos en el casquillo a cobre, más barato.

Edison diseñó a la vez la lámpara y su red. Un filamento de alta resistencia eléctrica consume poca corriente a unos 100 voltios, así que las lámparas pueden conectarse en paralelo, cada una con su interruptor, con cables de cobre de sección razonable.

Solo del 5 al 10 % de la electricidad de una bombilla incandescente sale como luz visible; el resto es calor.

En una bomba de Sprengel, cada gota de mercurio que cae atrapa un poco de aire y lo arrastra tubo abajo.

Cómo construirla

Una lámpara duradera necesita un soplador de vidrio, una bomba de vacío que alcance una presión muy baja y un filamento adecuado a su tensión. Solo el primer paso es una demostración segura en casa; los demás describen cómo se hacían las primeras lámparas en un taller.

Ver el principio. Sujetar un trocito de mina de lápiz fina entre dos pinzas metálicas sobre una baldosa de cerámica y taparlo con un tarro boca abajo. Alimentarlo con una fuente de laboratorio a unos 12 voltios y el límite de corriente al mínimo, y subirlo poco a poco. La mina se pone naranja y luego se quema con el oxígeno del tarro: por eso hay que vaciar la ampolla.

Carbonizar el filamento. En los talleres se metían lazos de bambú o hilo de algodón en carbón vegetal en polvo, en un crisol con tapa y respiradero que se calentaba al rojo en un horno durante horas. Sin aire, la fibra se vuelve carbono y no ceniza; los gases que escapan son inflamables y contienen monóxido de carbono.

Sellar los hilos. Se fundían dos hilos cortos de platino, u otro metal adaptado al vidrio, en un pie de vidrio; el filamento se sujetaba a sus puntas con pasta de carbono, y el pie se soldaba en el cuello de una ampolla soplada con un tubo fino de vaciado arriba. Un filamento de baja tensión debe ser más corto y más grueso que uno de 100 voltios.

Bombear y calentar. Con la ampolla en la bomba, una corriente suave por el filamento expulsaba los gases del carbono y del vidrio. Cuando la presión dejaba de bajar, el tubo se cerraba a la llama.

Colocar el casquillo. Se fijaba con yeso un casquillo de latón al cuello, con un hilo soldado a la rosca y el otro al contacto central.

Seguridad. La tensión de red puede matar: usar solo una fuente de laboratorio con limitación de corriente, de menos de 24 voltios, nunca un enchufe de pared, y no conectar nunca un filamento directamente a una batería de coche o de litio. Filamentos, vidrio y pinzas se calientan hasta quemar la piel y prender el papel: trabajar sobre una baldosa, lejos de todo material inflamable. Una ampolla vacía de aire puede implosionar y proyectar vidrio: usar gafas y trabajar detrás de una pantalla transparente. El vapor de mercurio es tóxico: no construir ni usar una bomba de mercurio en casa. No calentar nunca un recipiente cerrado: la carbonización desprende gases inflamables y monóxido de carbono, y se hace en un horno ventilado al aire libre, no en una vivienda.

Historia y evolución

Las fibras de bambú carbonizado duraban mucho más que el papel y el hilo de las primeras lámparas.

En 1802 Humphry Davy puso al rojo una lámina de platino con la corriente de una gran batería, y en 1840 Warren de la Rue colocó una espiral de platino en un tubo al vacío. El platino era carísimo; el carbono, barato, ardía con el aire que dejaban las bombas de entonces.

En Inglaterra, Joseph Swan probaba desde hacia 1850 filamentos de papel carbonizado. Un ensayo de 1860 en una ampolla mal vaciada fracasó. Desde 1875 usó la nueva bomba de Sprengel, y entre diciembre de 1878 y febrero de 1879 mostró en Newcastle upon Tyne lámparas de carbono funcionales. En diciembre de 1880 instaló lámparas en Cragside, residencia del industrial William Armstrong.

En Menlo Park, Nueva Jersey, el laboratorio de Thomas Edison eligió un filamento de carbono de alta resistencia eléctrica. El 22 de octubre de 1879, una lámpara con hilo de algodón carbonizado lució 13,5 horas; luego el equipo subió la corriente y, cerca de una hora después, la ampolla se recalentó y se agrietó. La noche del 31 de diciembre de 1879, Edison iluminó su laboratorio y la calle ante los visitantes, con filamentos de cartón carbonizado en herradura. En 1880 adoptó el bambú, con una duración declarada de unas 1200 horas, y en 1882 la central de Pearl Street empezó a dar luz al sur de Manhattan. Tras un pleito de patentes en Gran Bretaña, las empresas de Swan y Edison se fusionaron en 1883 como «Ediswan».

Hacia 1910, el hilo de tungsteno estirado sustituyó al carbono y dio una luz más blanca y con mejor rendimiento.

Hacia 1910, William Coolidge, de General Electric, logró estirar en hilo fino el quebradizo tungsteno. Al rojo blanco se evapora mucho más despacio que el carbono, lo que permitió lámparas más calientes. Irving Langmuir llenó luego las ampollas de un gas inerte, al principio nitrógeno, que frena aún más la evaporación, y enrolló el filamento en espiral. Desde 2009, la Unión Europea, y después muchos otros países, empezaron a retirar las bombillas incandescentes corrientes; las sustituyeron las fluorescentes compactas y luego los LED.

Cifras clave

Primera prueba larga de Edison

13,5 horas, y luego cerca de una más a mayor potencia (22 de octubre de 1879)

Filamento de bambú carbonizado

Duración declarada de unas 1200 horas (desde 1880)

Demostraciones de Swan en Newcastle

De diciembre de 1878 a febrero de 1879

Parte de la energía convertida en luz

Del 5 al 10 % aproximadamente; el resto es calor

Fuentes

1. Edison's Incandescent Lamp · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Edison%27s_Incandescent_Lamp
2. Lighting: From Research to Development · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/from-research-to-development
3. Lighting: The Carbon-Filament Lamp · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/the-carbon-filament-lamp
4. Joseph Swan · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/joseph-swan/
5. Joseph Swan · Newcastle University, Northern Innovation https://research.ncl.ac.uk/northerninnovation/exhibits/josephswan/
6. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

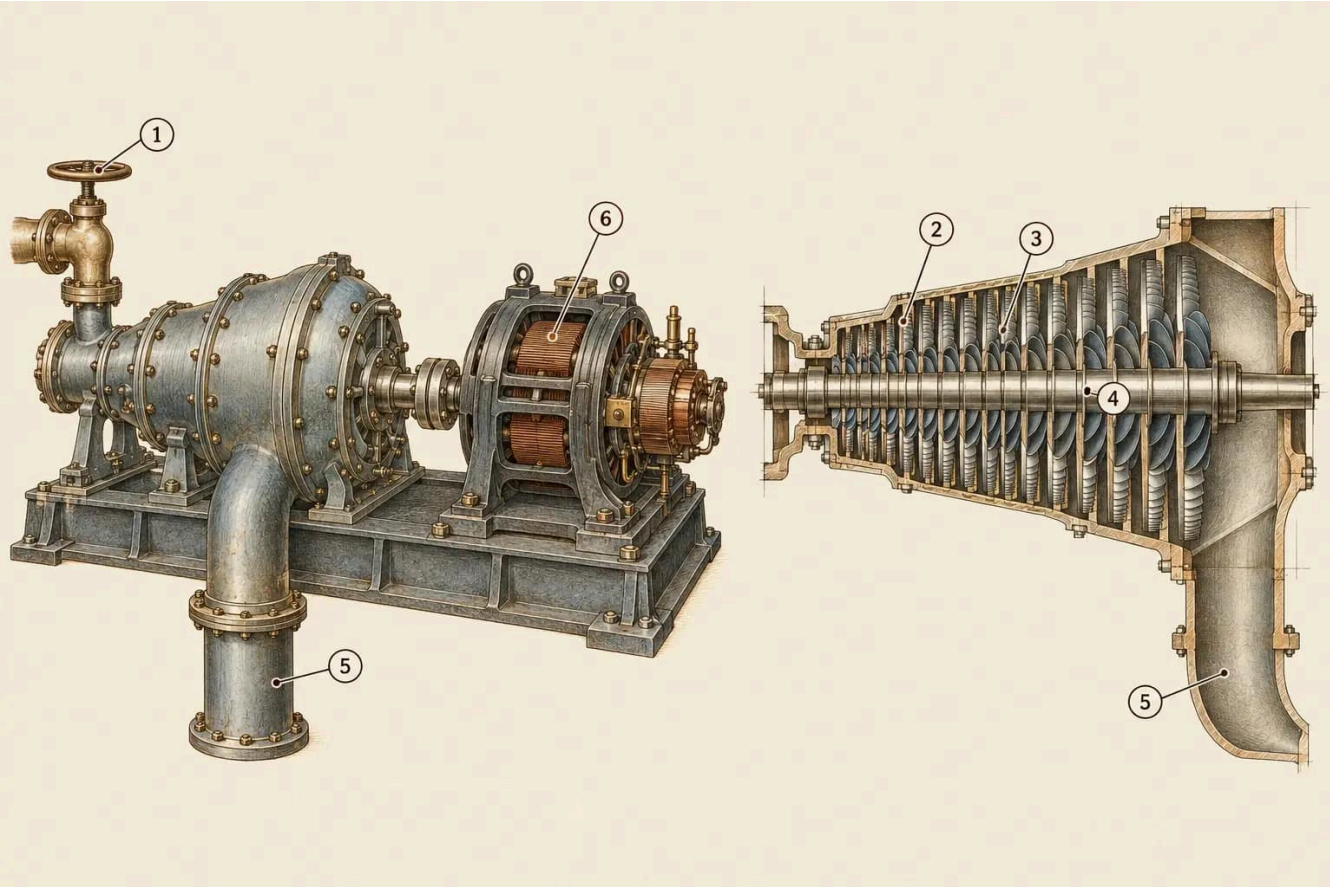
Datos verificados el 2026-10-11

Turbina de vapor

El vapor que mueve los generadores

1884 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Máquina de vapor (p. 226), Acero (p. 140), Generador eléctrico (p. 273)



1 Entrada de vapor y válvula de cierre 2 Álabes fijos de la carcasa 3 Álabes móviles del rotor 4 Eje del rotor 5 Escape hacia el condensador 6 Dinamo

En una turbina de vapor, el vapor se expande a través de hileras de álabes fijos y móviles: su presión se convierte en velocidad, y esa velocidad hace girar un eje. Charles Parsons acopló una a una dinamo en 1884; sus sucesoras mueven hoy los generadores que producen la mayor parte de la electricidad del mundo.

Qué es

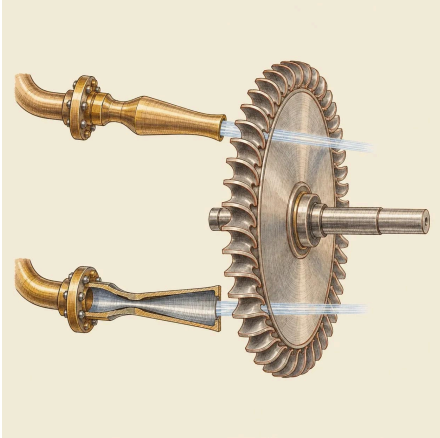
Una turbina de vapor es una rueda movida por vapor, sin pistón ni manivela. El vapor atraviesa hileras de álabes dispuestos alrededor de un eje y sale de la máquina a una presión mucho más baja; la energía que cede por el camino hace girar el eje. El movimiento es uniforme y rápido, justo lo que necesita un generador eléctrico.

Las centrales de carbón y las nucleares hierven agua para moverlas. Las centrales de gas de ciclo combinado producen vapor con el escape caliente de una turbina de gas, y las termosolares y la mayoría de las geotérmicas hacen lo mismo con el calor del sol o del subsuelo. Entre todas hacen de la turbina de vapor la fuente de la mayor parte de la electricidad del mundo.

Cómo funciona

El vapor entrega su energía al expandirse. En una tobera, un conducto que se estrecha, su presión baja y se acelera. En el punto más estrecho, la garganta, puede alcanzar la velocidad del sonido; para ir más rápido necesita un conducto que se ensanche tras la garganta, la forma abocinada de las toberas de De Laval. En cada etapa, una corona de álabes fijos en la carcasa hace de juego de toberas y lanza el vapor contra una corona de álabes móviles, curvos, montados en el rotor: desvían el chorro y ese cambio de dirección los empuja.

En una etapa de acción casi toda la caída de presión ocurre en las toberas fijas, y los álabes móviles solo reciben el chorro. En una etapa de reacción, la que eligió Parsons, también se estrechan los canales entre los álabes móviles: el vapor sigue expandiéndose al cruzarlos y los empuja hacia atrás al salir. En una etapa Parsons la expansión se reparte más o menos a partes iguales entre la hilera fija y la móvil.



La rueda de acción de De Laval: toberas que se ensanchan lanzan sus chorros a través de una sola corona de álabes.

Si una gran caída de presión se libera por una sola tobera, el chorro sale a más de 1000 metros por segundo, y los álabes rinden mejor a cerca de la mitad de esa velocidad. Una rueda única tendría que girar peligrosamente rápido y necesitaría engranajes reductores. Parsons dividió la caída en muchos escalones pequeños, de modo que el eje gira a un ritmo que una dinamo puede aprovechar.

Al bajar la presión, el vapor ocupa más espacio, así que los álabes se alargan hacia el escape: en la última hilera de las turbinas construidas para Hinkley Point C, en Inglaterra, miden 1,9 metros.

El vapor que sale al aire libre deja de expandirse a la presión atmosférica. Un condensador, una cámara llena de tubos enfriados con agua de río, de mar o de torre de refrigeración, vuelve líquido el vapor de escape y mantiene un vacío casi completo a la salida de la turbina, de modo que el vapor sigue expandiéndose y trabajando dentro de ella antes de condensarse. Las primeras turbinas de condensación de Parsons, en Cambridge en 1892, igualaron a las mejores máquinas de pistón de su potencia.

Este circuito es el ciclo de Rankine: una bomba impulsa el agua a la caldera, que la convierte en vapor; el vapor se expande en la turbina y el condensador lo devuelve al estado líquido para la bomba. Bombear un líquido cuesta poco frente a lo que entrega el vapor, por eso el ciclo deja trabajo útil. La bomba procede de la bomba de pistón, la caldera y el condensador de la máquina de vapor; un frigorífico recorre un circuito parecido en sentido inverso.

En una red de 50 hercios, un generador de dos polos montado en el eje gira a 3000 revoluciones por minuto, y a 3600 en una de 60 hercios. Después, los transformadores elevan la tensión para las líneas.

Cómo construirla

Una turbina de central se alimenta de una caldera, que es un recipiente a presión: no construya ninguna. Este modelo funciona con aire. Necesita un molde de tarta desechable de aluminio, dos corchos, una aguja de tejer, pajitas, una caja de cartón, pegamento y un secador de pelo en modo frío o una bomba de bicicleta.

Cortar una rueda de álabes. Recortar un disco de 10 cm. Hacer de 12 a 16 cortes desde el borde, parando a 2 cm del centro, y girar todas las paletas en el mismo sentido unos 30 grados.

Montarla. Pegar la rueda a un corcho ensartado en la aguja, que gira dentro de dos trozos de pajita fijados de lado a lado de la caja.

Comparar un tubo y una tobera. Con la misma bomba, a la misma distancia y con el mismo ángulo, soplar sobre las paletas por un tubo ancho y luego por una pajita recortada sostenida en diagonal, y observar cuál hace girar la rueda más deprisa.

Añadir una etapa. Pegar una segunda rueda, con las paletas giradas en el mismo sentido, a un segundo corcho en la misma aguja, 3 cm detrás de la primera. Entre ambas, fijar a la caja un anillo de cartón con paletas giradas en sentido contrario y un agujero central tan ancho que no toque ni la aguja ni las ruedas. Soplar a lo largo de la aguja a través de la rueda delantera, luego quitar el anillo y comparar: las paletas fijas deberían devolver hacia la segunda rueda el aire que sale de la primera.

Medir la tensión. Acoplar a la aguja, con un trozo de tubo, un pequeño motor de corriente continua de modelismo y conectar a sus bornes un multímetro en voltios de continua. Si la rueda consigue mover el motor, la lectura sube con la velocidad.

No pruebe el modelo con vapor. Al hervir, el agua da más de mil veces su volumen en vapor, y un recipiente caliente cerrado u obstruido aumenta su presión hasta reventar. Las calderas de verdad siguen diseños certificados, llevan válvulas de seguridad y las revisa con regularidad una persona competente; una caldera casera no ofrece ninguna de esas garantías.

> **Seguridad.** El vapor quema en una fracción de segundo, incluso en el pico de un hervidor, donde es invisible: mantener manos y caras lejos. No cerrar, tapar ni obstruir nunca un recipiente caliente. Una rueda de aluminio girando tiene bordes cortantes y puede soltar una paleta: usar gafas y recogerse el pelo. Utilizar solo un pequeño motor de modelismo y un multímetro, nunca la red eléctrica, y alejar el secador del agua.

Historia y evolución

La eolípila de Herón: dos chorros de vapor hacen girar la esfera sobre sus pivotes.

En el siglo I de nuestra era, Herón de Alejandría describió la eolípila, una bola hueca que giraba impulsada por el vapor de unas boquillas acodadas: el primer aparato conocido que convierte el vapor en rotación. En 1629 Giovanni Branca publicó el dibujo de una máquina en la que un chorro de vapor soplaba sobre una rueda de paletas; probablemente nunca se construyó. En Suecia, Gustaf de Laval patentó en 1883 una pequeña rueda de reacción para sus desnatadoras y, en 1889, una turbina de acción de una sola etapa con reductor.

En 1884 Charles Parsons, socio de Clarke, Chapman en Gateshead, acopló directamente a una dinamo una turbina de muchas etapas de reacción. Daba 7,5 kilovatios a 18 000 revoluciones por minuto, y en 1888 unos 200 grupos parecidos iluminaban barcos. En 1890 la central de Forth Banks, en Newcastle, fue la primera en emplear turbinas.

Para demostrar lo que valía la turbina en un barco, Parsons construyó el Turbinia, una lancha de 31 metros que alcanzó 34,5 nudos. El 26 de junio de 1897 lo hizo pasar sin invitación ante las filas de buques de guerra de la revista naval de Spithead. En 1905 un comité del Almirantazgo recomendó turbinas para todas las clases de buques de guerra.

En Estados Unidos, Charles Curtis vendió sus derechos a General Electric en 1896. Su grupo de 5000 kilovatios de 1903, entonces el más potente del mundo, medía 7,6 metros de alto, frente a 18 de una máquina de pistón de

potencia parecida. Los grupos llegaron a 660 megavatios en Drax en los años setenta, y cada una de las dos turbinas construidas para Hinkley Point C tiene una potencia nominal de 1770 megavatios.

El Turbinia a toda máquina: tres turbinas en tres ejes movían nueve hélices.

Cifras clave

Primer turbodinamo de Parsons
1884: 7,5 kW a 18 000 rpm

Turbinia
34,5 nudos; exhibida en Spithead el 26 de junio de 1897

Parte de la electricidad de Estados Unidos, 2022
Cerca del 53 %: 42,5 % de centrales de vapor y 10,7 % de la parte de vapor de los ciclos combinados

Primeras turbinas de condensación
Cambridge, 1892: tres grupos de 100 kW a 4800 rpm

Velocidad de una turbina de red
3000 rpm en redes de 50 Hz, 3600 en las de 60 Hz; la mitad en los grandes grupos nucleares

Fuentes

1. Parsons' steam turbine generator, 1884 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co51109
2. Charles Algernon Parsons 1854–1931 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/ap26725/parsons-charles-algernon
3. 100 K.W. Parsons' Radial Flow Steam Turbine alternator with Generator, partly sectioned · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8625819/100-k-w-parsons-radial-flow-steam-turbine-alternator-with-generator-partly-sectioned
4. Forward thinkers: Sir Charles Parsons, inventor of the steam turbine · Institution of Mechanical Engineers https://www.imeche.org/news/news-article/forward-thinkers-sir-charles-parsons-inventor-of-the-steam-turbine
5. Turbinia (1894) · Tyne Built Ships https://www.tynebuiltships.co.uk/T-Ships/turbinia1894.html
6. Curtis 5000-kW Vertical Turbine (ASME Landmark) · Engineering and Technology History Wiki, ASME https://ethw.org/ASME-Landmark:Curtis_5000-kW_Vertical_Turbine
7. Charles Gordon Curtis · ASME https://www.asme.org/topics-resources/content/charles-gordon-curtis
8. Carl Gustaf Patrik De Laval · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Carl_Gustaf_Patrik_De_Laval
9. C. A. Parsons and Co: Electricity Generation and Transmission · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/C._A._Parsons_and_Co:_Electricity_Generation_and_Transmission
10. Heron of Alexandria · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Heron/
11. Giovanni Branca · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/literature-and-writing/giovanni-branca
12. Fluid Machinery, Lecture 24: steam turbines · NPTEL, Indian Institutes of Technology https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_6/6_9.html
13. Nozzle Design · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/nozzle-design/
14. The Rankine cycle · MIT, Unified Engineering thermodynamics notes https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node65.html
15. How electricity is generated · U.S. Energy Information Administration https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php
16. Arabelle goes to new lengths · Nuclear Engineering International https://www.neimagazine.com/analysis/arabelle-goes-to-new-lengths/
17. Introduction to pressure equipment · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pressure-systems/about.htm
18. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97) · International Association for the Properties of Water and Steam https://www.iapws.org/relif/IF97-Rev.html
19. TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine: Stodola ellipse law and Baumann wetness correction (after D. H. Cooke, J. Eng. Gas Turbines Power 107, 1985) · OpenModelica, Oak Ridge National Laboratory TRANSFORM library https://build.openmodelica.org/Documentation/TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine.html

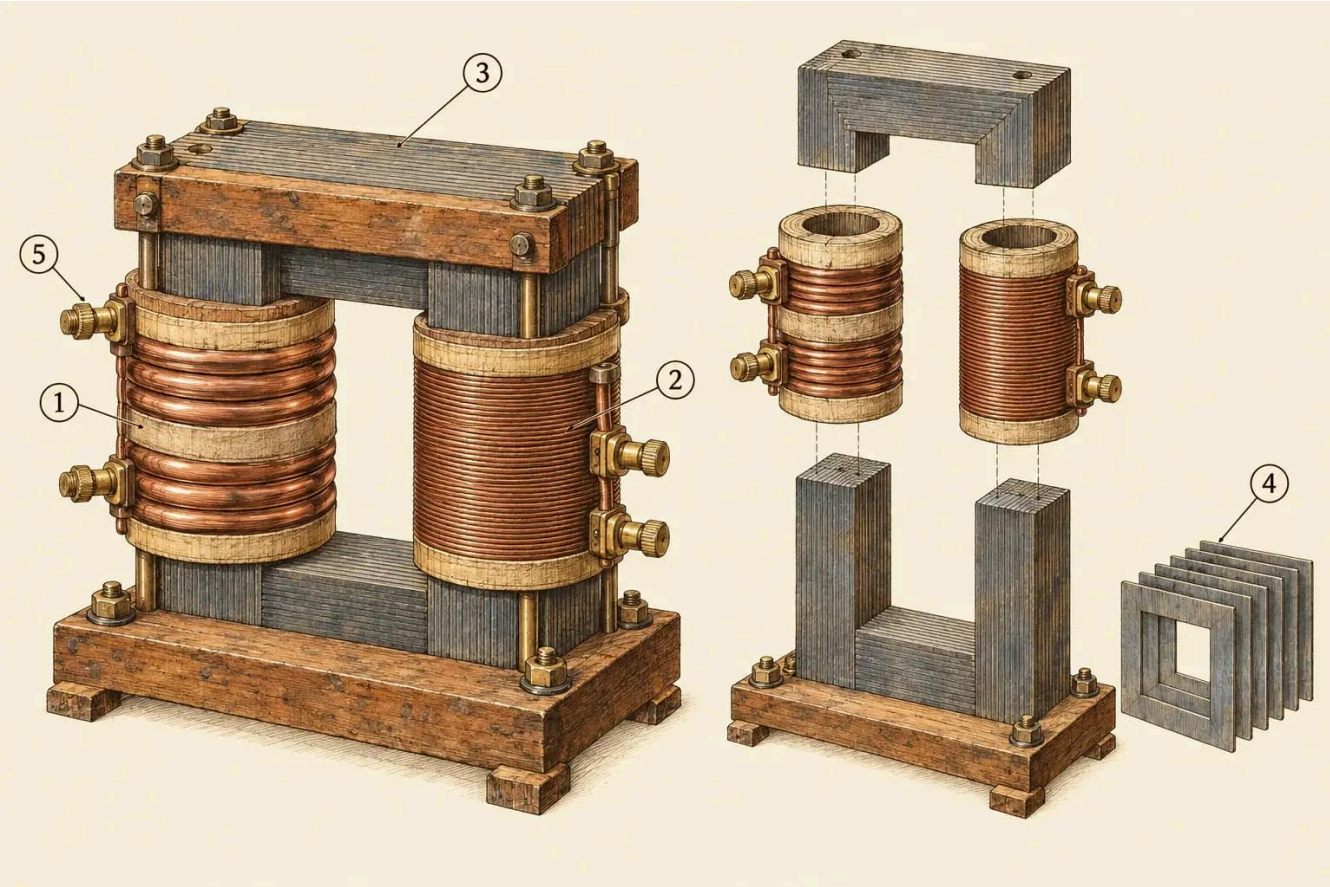
Datos verificados el 2026-10-14

Transformador

Subir y bajar la tensión

1885 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Generador eléctrico (p. 273), Reducción del hierro (p. 136)



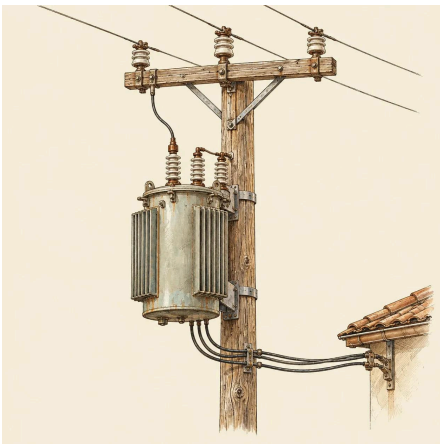
1 Primario: pocas espiras de hilo grueso 2 Secundario: muchas espiras de hilo fino 3 Núcleo de hierro laminado
4 Chapas finas del núcleo 5 Borne de conexión

Un transformador son dos bobinas de hilo sobre un mismo núcleo de hierro: una corriente alterna en la primera induce en la segunda una tensión más alta o más baja, según la relación entre sus números de espiras. Permite enviar la electricidad a alta tensión por líneas largas y entregarla a la tensión que usan los aparatos, y es la razón principal de que la corriente alterna se impusiera en las redes del mundo.

Qué es

Un transformador cambia la tensión de una corriente alterna. No tiene piezas móviles: dos bobinas de hilo de cobre aislado, el primario y el secundario, arrolladas sobre un núcleo de hierro cerrado. La energía entra por una bobina y sale por la otra con una tensión más alta o más baja, y la corriente cambia en sentido contrario.

Las centrales elevan la tensión para las grandes líneas. Las subestaciones la bajan por etapas, y un último transformador, en un poste o en una pequeña caseta, la deja en los 230 o 120 voltios de un enchufe. Los cargadores y los timbres llevan transformadores pequeños.



Un transformador de poste baja la tensión de la línea de la calle hasta la que se usa en casa.

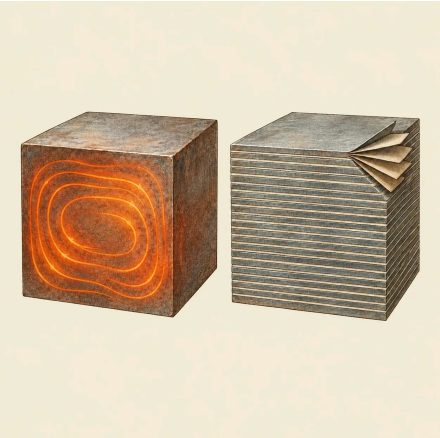
Cómo funciona

La corriente del primario imanta el núcleo de hierro. Como la corriente es alterna, esa imantación crece, se anula y se invierte, a razón de cincuenta o sesenta ciclos completos por segundo. El flujo variable atraviesa el secundario e induce una tensión en cada una de sus espiras: es la inducción que descubrió Faraday, que solo actúa mientras el flujo cambia.

Cada espira de las dos bobinas abraza el mismo flujo, así que las tensiones de las bobinas guardan la proporción de sus espiras. Con 1000 espiras en el primario y 50 en el secundario, 4600 voltios de entrada dan 230 de salida. En un transformador ideal, sin pérdidas, el lado de baja tensión lleva veinte veces más corriente y por eso se bobina con hilo más grueso.

Con corriente continua nada de esto funciona: un flujo constante no induce nada, y el primario queda como un trozo de hilo conectado a la fuente, que se calienta. Los transformadores necesitan corriente alterna, y por eso la alterna se convirtió en la norma de las redes; los enlaces actuales de corriente continua en alta tensión convierten la alterna en continua al salir y la continua en alterna al llegar.

La alta tensión compensa porque el calor perdido en un hilo crece con el cuadrado de la corriente. Enviemos 100 kilovatios por una línea cuyos hilos suman 2 ohmios. A 1000 voltios circulan 100 amperios y los hilos disipan 20 kilovatios, la quinta parte de la potencia. A 10 000 voltios circulan 10 amperios y la pérdida baja a 200 vatios, el 0,2 %.



Un núcleo macizo se calienta por las corrientes que circulan dentro; las chapas finas aisladas entre sí las reducen mucho.

El flujo también hace circular corrientes en bucle dentro del propio hierro, las corrientes de Foucault, y un núcleo macizo se calentaría como la placa de una cocina. Por eso el núcleo es una pila de chapas de unas décimas de milímetro, aisladas entre sí con barniz o con una capa de óxido. Esas pérdidas bajan con el cuadrado del espesor de la chapa. Los primeros constructores usaban por la misma razón haces de alambre de hierro; los núcleos actuales son de acero al silicio.

Las redes usan corriente trifásica: tres corrientes alternas desfasadas un tercio de ciclo, llevadas por tres hilos y transformadas por tres juegos de bobinas sobre un mismo núcleo.

Cómo construirlo

Es una demostración de mesa a pocos voltios, nunca un montaje conectado a la red. Hacen falta un tornillo de acero de unos 10 cm, un segundo tornillo desnudo y dos pletinas de acero, de 20 a 30 m de hilo de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm, cinta aislante, lija fina, un polímetro que mida tensión alterna y, para la última prueba, un galvanómetro de cero central.

Bobinar. Sobre una capa de cinta, arrollar en el tornillo un primario de 100 espiras. Cubrirlo con cinta, bobinar encima un secundario de 100 espiras, volver a encintar y añadir encima otro de 50. Lijar el esmalte de cada extremo.

Elegir una fuente segura. Usar un adaptador de enchufe comprado cuya etiqueta indique salida alterna («AC output») de 12 voltios como máximo, o un generador de funciones que dé una senoide de pocos voltios a 1 kHz aproximadamente, sin componente continua. La mayoría de los adaptadores dan continua y no sirven. Una bombilla incandescente de coche de 12 voltios y unos 5 vatios en serie con el primario limita la corriente.

Medir. Leer la tensión alterna en el primario y en cada secundario, y luego desconectar: el tornillo macizo se calienta. Con el adaptador se leen unas décimas de voltio, porque la mayor parte de la tensión cae en la bombilla. La bobina de 50 espiras da más o menos la mitad que la de 100, y las dos quedan por debajo del primario, porque el flujo de un solo tornillo se cierra por el aire. Colocar el tornillo desnudo junto al bobinado y unir sus cabezas y sus puntas con las pletinas, de modo que el hierro forme un marco cerrado alrededor de las bobinas: las lecturas suben.

Probar con una pila. Con una pila de 4,5 voltios en lugar del adaptador, y la bombilla todavía en serie, conectar al secundario un galvanómetro de cero central en su escala menos sensible o a través de una resistencia de unos pocos kiloohmios. La aguja salta hacia un lado al cerrar el circuito, hacia el otro al abrirlo, y entre tanto se queda en cero.

Leer una placa de características. En un transformador de timbre, buscar las tensiones de entrada y de salida, por ejemplo 230 V / 12 V, y la potencia en voltamperios (VA). Los equipos grandes añaden frecuencia, refrigeración e impedancia; esas placas se leen desde fuera de la valla.

> **Seguridad.** No dar nunca a un secundario más espiras que al primario, y recordar que un adaptador en vacío puede dar una quinta parte más de lo que indica su etiqueta. Abrir un circuito que pasa por una bobina produce un breve pico de tensión: cortar con un interruptor o con un cable sujeto por su aislante, nunca con los dedos en los extremos pelados. No bobinar nunca para la red, ni abrir, modificar o recablear aparatos que funcionen con la red, aunque estén desenchufados: los transformadores de microondas y de rótulos de neón dan corrientes mortales. Un transformador reductor alimentado al revés eleva la tensión, y los condensadores de un aparato pueden seguir cargados después de desenchufarlo. Las bobinas siguen calientes tras el uso. No trepar nunca a postes, no entrar en subestaciones y no tocar líneas caídas. Las instalaciones de red son trabajo de un electricista autorizado.

Historia y evolución

Michael Faraday mostró la inducción en agosto de 1831 con su anillo de hierro de dos bobinas, Joseph Henry la halló por su cuenta en América, y hacia 1850 Heinrich Ruhmkorff, en París, convirtió la bobina de inducción en un instrumento habitual de laboratorio.

En 1884, Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs encendieron lámparas a lo largo de una línea de 40 km entre Turín y Lanzo con sus «generadores secundarios», conectados en serie y con núcleos de hierro abiertos: encender una lámpara alteraba las demás.

En los talleres Ganz de Budapest, Károly Zipernowsky, Miksa Déri y Ottó Bláthy vieron que un núcleo de hierro cerrado y transformadores conectados en paralelo mantendrían estable la tensión. Solicitaron patentes entre enero y marzo de 1885, llamaron «transformador» al aparato y con su sistema iluminaron en mayo la Exposición Nacional de Budapest.

Uno de los primeros transformadores de Budapest: el alambre de hierro envuelve el anillo de cobre y cierra el circuito magnético.

George Westinghouse compró los derechos de Gaulard y Gibbs, y su ingeniero William Stanley construyó transformadores de núcleo cerrado que iluminaron la calle principal de Great Barrington, en Massachusetts, en marzo de 1886. La corriente continua de Edison, a unos 110 voltios, solo llegaba a unas pocas calles alrededor de cada central, y sus empresas hicieron campaña sobre los peligros de la alterna. Westinghouse iluminó con alterna la Exposición de Chicago de 1893, y en 1896 la energía de las cataratas del Niágara llegó a Búfalo.

Hacia 1888, Galileo Ferraris y Nikola Tesla ya habían obtenido con corrientes desfasadas un campo giratorio para motores; en 1891, una línea trifásica llevó 300 caballos a 175 km, de Lauffen a Fráncfort. Las grandes líneas actuales trabajan a cientos de miles de voltios.

Cifras clave

Principio descubierto
29 de agosto de 1831, anillo de hierro de Faraday en la Royal Institution

Primera distribución en alterna con transformadores en Estados Unidos
Great Barrington (Massachusetts), marzo de 1886 (William Stanley)

Pérdidas en la línea
Con la misma potencia y la misma línea: diez veces más tensión, cien veces menos pérdidas

Transformador de núcleo cerrado
Solicitudes de patente presentadas entre enero y marzo de 1885 por Zipernowsky, Déri y Bláthy, de los talleres Ganz de Budapest

Línea Lauffen-Fráncfort, 1891
175 km a 15 000 voltios, trifásica, con más del 75 % de la energía entregada

Fuentes

1. Michael Faraday's ring-coil apparatus · The Royal Institution https://rigb.org/node/143
2. History of the Transformer (F. Uppenborn, 1889) · Project Gutenberg https://gutenberg.org/files/56365/56365-h/56365-h.htm
3. Centenary of the transformer (P. Asztalos, 1986) · Periodica Polytechnica Electrical Engineering, Budapest University of Technology and Economics https://pp.bme.hu/ee/article/view/4637
4. Gaulard and Gibbs secondary generator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/GaulardGibbsSecondaryGenerator.html
5. Milestones: Alternating Current Electrification, 1886 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Alternating_Current_Electrification,_1886
6. Milestones: Long Distance Electric Power Transmission Using Three-Phase Alternating Current, 1891 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Long_Distance_Electric_Power_Transmission_Using_Three-Phase_Alternating_Current,_1891
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885-1888 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station,_1882
9. History of Transformers · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/Transformers.html
10. The War of the Currents: AC vs. DC Power · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/war-currents-ac-vs-dc-power
11. Eddy currents · schoolphysics https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetic%20induction/text/Eddy_currents/index.html
12. Transformer · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html
13. Introduction to Electric Power Systems (J. L. Kirtley), 3.4 Transformers · LibreTexts https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electro-Optics/Introduction_to_Electric_Power_Systems_(Kirtley)/03%3A_Polyphase_Networks/3.04%3A_Transformers
14. Commission Regulation (EU) No 548/2014, Annex I: ecodesign requirements for transformers · legislation.gov.uk https://www.legislation.gov.uk/eur/2014/548/annex/I/division/1/adopted

Datos verificados el 2026-10-14

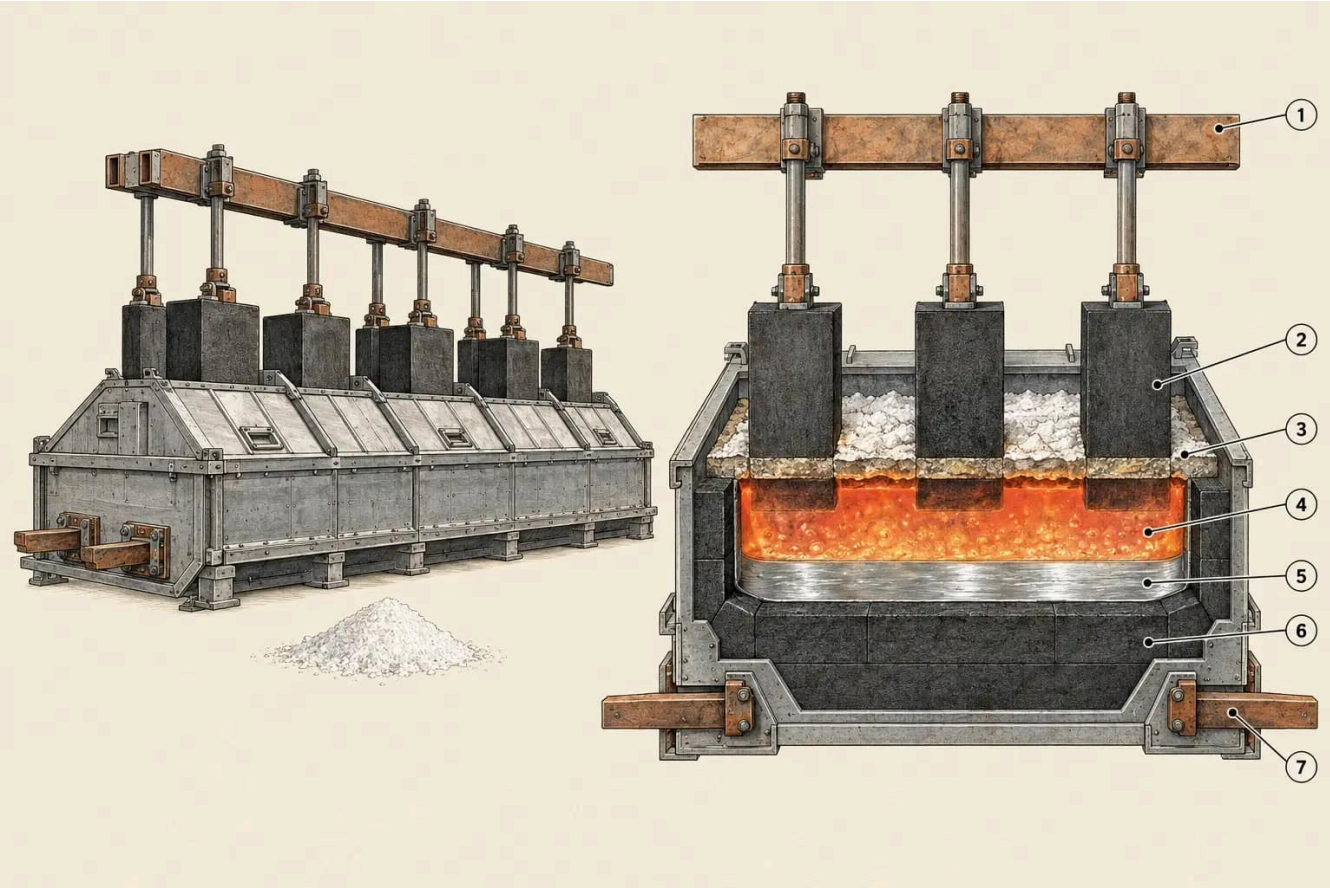
Aluminio

Alúmina convertida en metal por electricidad

1886 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Generador eléctrico (p. 273), Turbina hidráulica (p. 264)

Conduce a: Avión (p. 352)



1 Barra colectora y varillas de ánodo 2 Ánodos de carbono 3 Costra de baño solidificado y alúmina 4 Baño de criolita fundida con alúmina disuelta 5 Aluminio líquido 6 Revestimiento catódico de carbono 7 Cuba de acero y barras colectoras del cátodo

El aluminio es el metal más abundante de la corteza terrestre, pero está atrapado en óxidos que ni el fuego ni el carbón vegetal logran romper. Desde 1886 se obtiene refinando la bauxita hasta alúmina, disolviendo la alúmina en criolita fundida y descomponiéndola con una fuerte corriente continua.

Qué es

El aluminio es un metal ligero y plateado, con un tercio de la densidad del acero. Forma alrededor del 8 % del peso de la corteza terrestre, más que ningún otro metal, y sin embargo casi nunca aparece en estado nativo. Está unido al oxígeno en las arcillas, los feldespatos y la mayoría de las rocas comunes, y ese enlace resiste el fuego de carbón vegetal que libera el hierro o el cobre.

Su mena es la bauxita, una roca rojiza formada por la meteorización tropical. Una refinería la convierte en alúmina, un polvo blanco de óxido, y una planta de electrólisis descompone esa alúmina con corriente en la cuba

Hall-Héroult de la lámina. Sigue siendo la única vía industrial para obtener aluminio nuevo.

Cómo funciona

De la bauxita a la alúmina. En el proceso Bayer, la bauxita molida se ataca a presión con sosa cáustica caliente, entre 140 y 280 °C según el mineral. Los minerales de aluminio se disuelven; los óxidos de hierro y la arena se depositan como un residuo rojo. Enfriado y sembrado con cristales de una tanda anterior, el licor deja crecer hidróxido de aluminio, que se calcina hasta unos 1100 °C para dar alúmina.

Del mineral al metal: de dos a tres toneladas de bauxita dan una tonelada de alúmina, y dos toneladas de alúmina una de aluminio.

De la alúmina al metal. La alúmina funde por encima de 2000 °C, pero un baño de criolita fundida, un fluoruro de sodio y aluminio, con fluoruro de aluminio añadido, la disuelve hacia 950–980 °C. La cuba es una caja de acero revestida de bloques de carbono, que forman el electrodo negativo. Los ánodos de carbono se sumergen en el baño, colgados de varillas sujetas a una pesada barra colectora.

La corriente continua pasa de los ánodos al revestimiento a través del baño y descompone la alúmina disuelta. El aluminio, más denso que el baño, se acumula líquido en el fondo. El oxígeno va a los ánodos y quema su carbono en dióxido de carbono, entre 0,4 y 0,5 kg de carbono por kilogramo de metal, de modo que los ánodos gastados se cambian por turnos. Una costra de baño solidificado y alúmina conserva el calor. Por ella se añade alúmina, y el metal se extrae por succión a intervalos.

La corriente mantiene además el baño fundido. Las cubas se conectan en serie y cada una lleva mucho más de cien mil amperios con solo cuatro o cinco voltios. Cada átomo de aluminio necesita tres electrones, así que la cuba gasta unos 13 a 15 kilovatios hora por kilogramo, y menos de la mitad se emplea en la reacción misma.
La electricidad es el mayor coste, por eso las plantas se instalan donde es barata, junto a las presas de Canadá, Noruega o Islandia o cerca de grandes centrales, con transformadores y rectificadores para obtener corriente continua.

Al aire se forma enseguida sobre el metal una película de óxido de pocos nanómetros que detiene la corrosión y se rehace si se raya. Pequeñas proporciones de cobre, magnesio, silicio o cinc lo hacen bastante resistente para la aviación. El reciclaje solo tiene que refundir chatarra: 8,3 gigajulios por tonelada frente a 186 del metal nuevo en 2019, un ahorro de alrededor del 95 %.

Cómo se construye

No fabrique ni funda aluminio en casa. El baño desprende humos fluorados tóxicos y trabaja cerca de 1000 °C, y una gota de agua atrapada bajo el metal líquido se convierte de golpe en vapor y lo proyecta; las latas fundidas añaden los humos de pinturas y barnices. Un taller puede clasificar el metal, trabajarlo en frío y mostrar la electrólisis con pocos voltios.

Clasificar. Un imán atrae el acero, no el aluminio. Para distinguirlo de otros metales no magnéticos, se pesa un trozo y se mide el agua que desplaza: el aluminio da unos 2,7 gramos por centímetro cúbico; el cobre y el latón, más de 8. Hay que enjuagar los restos de comida y apartar las piezas pintadas o plastificadas.

Doblar y taladrar. Los grados blandos se doblan en frío en un tornillo de banco entre tacos de madera dura; las aleaciones duras se agrietan en un pliegue vivo, así que se curvan alrededor de un taco redondeado. Para taladrar,

El imán se pega a la lata de acero y no atrae la de aluminio.

se marca con un granete, se sujeta la chapa sobre madera y se usa una broca afilada con una gota de aceite: una chapa sujeta a mano puede engancharse y girar.

Unir en frío. El aluminio se suelda mal: su óxido funde por encima de 2000 °C, el metal a 660 °C, y no se pone al rojo antes de hundirse. Se une con remaches, tornillos o adhesivo estructural, a ser posible con fijaciones de aluminio. Con humedad, y sobre todo cerca del mar, el aluminio se corroe en contacto con cobre, acero e incluso acero inoxidable; unas arandelas de plástico o una capa de pintura los separan.

Mostrar el principio. Se ponen dos minas de lápiz en un vaso de agua con una cucharadita de carbonato de sodio (sosa de lavar) y se conectan a una pila de 9 voltios. En la mina negativa burbujea hidrógeno y en la positiva oxígeno: la corriente descompone el agua como la cuba descompone la alúmina.

> **Seguridad.** Nada de metal fundido ni de electrólisis de sales fundidas fuera de una planta industrial. Los bordes de la chapa pueden causar cortes: use guantes para manipularla y desbarbe cada corte, pero quíteselos antes de taladrar, y protéjase los ojos. El carbonato de sodio irrita la piel y los ojos, así que lleve gafas. No use nunca sal de mesa en la demostración, porque desprende cloro; mantenga el hidrógeno lejos de las llamas y use solo una pila pequeña, nunca la red eléctrica.

Historia y evolución

Hans Christian Ørsted obtuvo en 1825 una muestra diminuta e impura a partir del cloruro de aluminio. Friedrich Wöhler preparó un polvo en 1827 y pequeñas bolitas en 1845.

En Francia, Henri Sainte-Claire Deville redujo el cloruro con sodio y presentó un lingote en la Exposición Universal de París de 1855. Napoleón III lo apoyó y, según se cuenta, reservaba cubiertos de aluminio para sus invitados más ilustres. En diciembre de 1884 una pirámide de aluminio de 100 onzas coronó el Monumento a Washington, a 1,10 dólares la onza, más o menos el precio de la plata.

Cubiertos de aluminio del Segundo Imperio, cuando el metal valía tanto como la plata.

En 1886 dos hombres de 22 años dieron con la misma solución. El 23 de febrero, en Oberlin (Ohio), Charles Martin Hall, con pilas caseras, obtuvo glóbulos de aluminio a partir de alúmina disuelta en criolita. Paul Héroult, que había gastado su herencia en una dinamo, presentó una patente francesa el 23 de abril. La empresa de Hall en Pittsburgh, la futura Alcoa, empezó a producir en 1888; el proceso de Héroult arrancó en Neuhausen, junto a las cataratas del Rin. Karl Josef Bayer patentó en 1887 la precipitación de la alúmina con cristales de siembra y en 1892 el ataque de la bauxita a presión; juntos abarataron la alúmina pura.

La libra costaba unos 4,86 dólares en 1888 y menos de un dólar a principios de la década de 1890. El motor de los hermanos Wright de 1903 tenía el cárter de aluminio; aleaciones endurecidas por tratamiento térmico como el duraluminio, vendidas desde 1909 aproximadamente, pasaron a los dirigibles y luego a los aviones. En 2025 las plantas de electrólisis produjeron unos 74 millones de toneladas de metal nuevo.

Cifras clave

Temperatura de la cuba
Unos 950–980 °C

Del mineral al metal
2–3 t de bauxita por tonelada de alúmina; unas 2 t de alúmina por tonelada de metal

Producción primaria
Unos 74 millones de toneladas en 2025 (estimación del USGS), 45 millones de ellas en China

Electricidad
Unos 13–15 kWh por kilogramo de aluminio

Reciclaje
Cerca del 5 % de la energía del metal nuevo (8,3 frente a 186 GJ por tonelada, 2019)

Fuentes

1. Aluminum: Common Metal, Uncommon Past · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/aluminum-common-metal-uncommon-past/
2. The Washington Monument's aluminum capstone · National Park Service https://www.nps.gov/articles/000/wamocap.htm
3. Production process: Refining · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=374
4. Production process: Reduction · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=1905
5. Aluminium recycling saves 95% of the energy needed for primary aluminium production · International Aluminium Institute https://international-aluminium.org/landing/aluminium-recycling-saves-95-of-the-energy-needed-for-primary-aluminium-production/
6. Alumina refining · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/?p=227
7. Aluminium smelting · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/how-aluminium-is-made/aluminium-smelting-chart/
8. Ionic liquids as electrolytes in aluminum electrolysis (Wu et al., 2022) · Frontiers in Chemistry https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2022.1014893/full
9. Aluminum (Mineral Commodity Summaries 2026) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-aluminum.pdf
10. Aluminum (Al) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/sir/2017/5118/elements/Aluminum/Al_txt.html
11. Aluminium : historique · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/aluminium/2-historique/
12. Hall, Charles · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/news-wires-white-papers-and-books/hall-charles
13. K. J. Bayer, Process of obtaining alumina, US 382,505 (filed 1887) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US382505A/en
14. K. J. Bayer, Process of making alumina, US 515,895 (filed 1892) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US515895A/en
15. Aluminium · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium

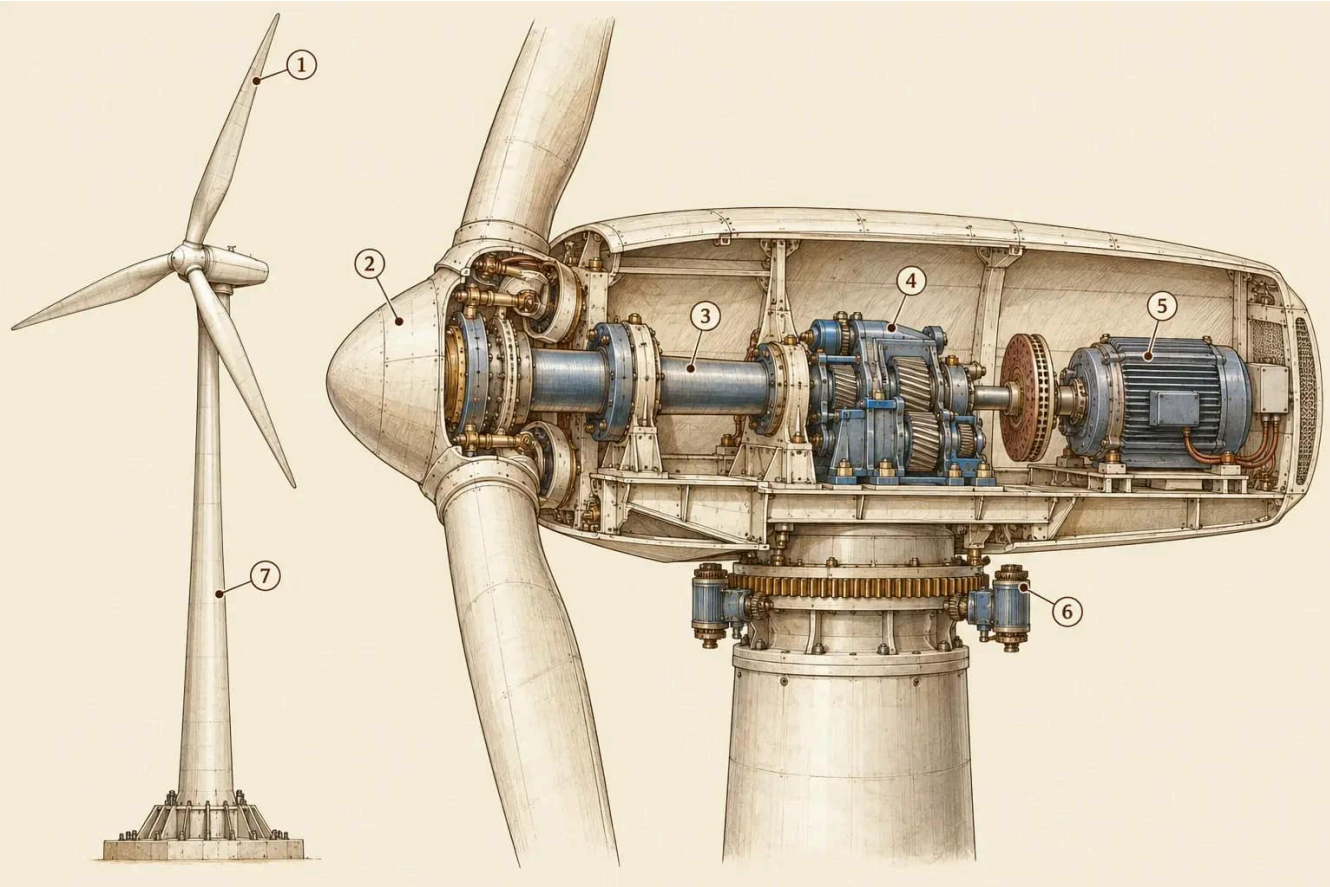
Datos verificados el 2026-10-14

Aerogenerador

El viento convertido en electricidad

1887 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Molino de viento (p. 185), Generador eléctrico (p. 273), Batería de plomo-ácido (p. 303), Acero (p. 140)



1 Pala 2 Buje con rodamientos de paso 3 Eje principal (lento) 4 Multiplicadora 5 Generador
6 Corona y motores de orientación 7 Torre

Un aerogenerador es un rotor de palas largas, perfiladas como alas, que el viento hace girar y que mueve un generador eléctrico en lo alto de una torre. Los pequeños cargan baterías; los grandes, con rotores de más de cien metros de diámetro, vierten su energía a la red a través de un transformador.

Qué es

Un aerogenerador es un molino de viento hecho para producir electricidad: el rotor hace girar un eje, y el eje mueve un generador. La máquina del dibujo tiene la disposición de casi todos los grandes aerogeneradores actuales. Tres palas esbeltas (1) dan la cara al viento delante de una torre de acero (7), y la góndola, arriba, guarda el tren de transmisión y gira para seguir al viento.

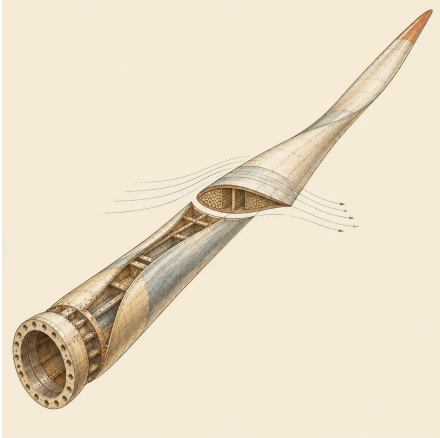
Cómo funciona

La potencia del viento es $P = ½·ρ·A·v^3$, donde ρ es la densidad del aire, unos 1,2 kg/m^3, A el área barrida por el rotor y v la velocidad del viento. Un rotor de 3 metros de diámetro barre unos 7,1 m^2. A 6 m/s, el viento que lo

atraviesa lleva ½ × 1,2 × 7,1 × 6^3 ≈ 920 vatios; a 12 m/s, ocho veces más, unos 7,4 kW. Por eso los aerogeneradores se alzan sobre torres altas, donde el viento sopla con más fuerza.

Ningún rotor puede llevarse toda esa potencia. Saca energía frenando el aire, pero el aire frenado tiene que seguir saliendo por detrás, o no entraría aire nuevo. Hacia 1920, el físico alemán Albert Betz demostró que la proporción máxima es 16/27, es decir, el 59,3 %. Las máquinas reales captan en general un 35-45 % en su rango de trabajo; un gran rotor moderno roza el 48 % en su mejor punto de funcionamiento, y la multiplicadora y el generador pierden algo más.

Las palas modernas son perfiles aerodinámicos y trabajan por sustentación, como el ala de un avión. Al moverse deprisa a través del viento, la pala recibe aire que llega sobre todo de lado, y la sustentación sobre su perfil la arrastra en el giro. La velocidad específica, la de la punta de la pala dividida por la del viento, ronda 7 en los aerogeneradores tripala conectados a la red: con viento de 10 m/s, las puntas van a unos 70 m/s.



La sección de la pala es un ala. Está torcida a lo largo porque la punta va mucho más deprisa que la raíz.

En el buje (2), cada pala va montada en un gran rodamiento que permite girarla sobre su propio eje. Este control del paso permite al rotor captar todo lo posible por debajo de la velocidad nominal del viento y limitar la potencia por encima. La máquina arranca a la velocidad de conexión, unos 3-5 m/s, y alcanza su plena potencia a la velocidad nominal. Por encima de la velocidad de corte, unos 25-29 m/s, pone las palas en bandera, el rotor se frena y un freno lo sujeta. Una veleta en la góndola indica la dirección del viento, y los motores de orientación (6) giran la góndola sobre una corona dentada, como hacía el molinete de orientación en un molino.

En las máquinas grandes, el eje principal (3) gira a unas 8-20 vueltas por minuto. En una transmisión clásica, una multiplicadora (4) acelera ese giro unas cien veces para el generador (5), que gira a más de mil vueltas por minuto. Otros diseños usan un generador de velocidad media con menos engranajes, o prescinden de la multiplicadora con un generador grande y lento de muchos polos magnéticos. La electrónica de potencia ajusta la corriente a la frecuencia de la red, y un transformador elevador sube la tensión.

Cómo se construye

Un aerogenerador pequeño puede cargar una batería de plomo de 12 voltios. Constrúyalo según un plano publicado y probado que especifique las palas, el mástil y la protección contra el embalamiento; los pasos siguientes muestran lo que ese plano debe cubrir. Consulte antes la normativa urbanística local y hable con los vecinos.

Elegir el sitio. Cerca del suelo, el viento es flojo y turbulento. Una regla habitual pone la parte baja del rotor al menos 9 metros por encima de cualquier obstáculo en 90 metros a la redonda. Un anemómetro a la altura prevista da una primera idea en unas semanas; un año entero muestra las estaciones.

Elegir el generador. Un motor de corriente continua de imanes permanentes, por ejemplo de una cinta de correr, sirve de generador. Hágalo girar con un taladro a velocidades conocidas, con una carga de 12 voltios conectada, y mida tensión y corriente: debe dar una corriente útil por encima de unos 14 voltios a unos cientos de vueltas por minuto, una velocidad que el rotor pueda alcanzar.

Palas cortadas de un tubo de plástico, un motor de cinta de correr y una cola de chapa.

Hacer el rotor. Los planos de máquinas pequeñas suelen cortar las palas de un tubo de plástico o tallarlas en una madera ligera de fibra recta. Respete la calidad del tubo, el grosor de pared y la forma de pala del plano: las palas de tubo se fatigan y pueden agrietarse en la raíz. Sujete la raíz de cada pala entre dos placas metálicas en el buje, equilibre el rotor hasta que se quede quieto en cualquier posición y cambie una pala a la primera grieta. Un rotor de 1,1 metros de diámetro recibe unos 70 vatios de viento a 5 m/s; 10 a 20 vatios en la batería es una estimación aproximada que solo una medición puede confirmar.

Mástil y cola. Una veleta de cola plana en un brazo mantiene el rotor de cara al viento. Monte el motor sobre un pivote en lo alto de un tubo de acero con pie articulado, y ancle los vientos a una distancia del pie de entre la mitad y tres cuartos de la altura del mástil, para poder abatirlo hasta el suelo. Use el mástil del plano, anclajes calculados para la carga y un cabrestante manual para levantarlo.

Proteger contra el embalamiento. Con una ráfaga, o sin carga eléctrica, un rotor puede girar hasta romperse. Un aerogenerador al aire libre necesita una protección automática: muchos pequeños tienen una cola articulada que gira el rotor fuera del viento fuerte; otros confían en la pérdida aerodinámica o en palas de paso variable. Sin esa protección, un aerogenerador no debe funcionar al aire libre; e incluso con ella, pare y baje un aerogenerador pequeño antes de una tormenta.

El cableado. Conecte el generador a la batería a través de un fusible y un diodo de bloqueo, que impide que la batería mueva el motor. Un regulador de derivación, dimensionado para la corriente del generador y conectado según su propio esquema, vigila la tensión de la batería y envía la potencia a una carga de derivación cuando está llena: resistencias capaces de absorber toda la potencia a la tensión de la batería, porque una estufa de red apenas consume nada a 12 voltios. Un interruptor que cortocircuita el generador frena el rotor con viento flojo, pero no lo bloquea; ate una pala al mástil antes de tocar el rotor.

Para un modelo de mesa, ponga un motor de juguete con palas de cartulina delante de un ventilador y mida la tensión en cada velocidad.

> **Seguridad.** Las puntas de las palas van mucho más deprisa de lo que parece: no se ponga nunca en el plano del rotor. No suba nunca a un mástil mientras la máquina pueda girar; párela y abata el mástil. Mantenga a todo el mundo a más distancia que la altura del mástil al levantarlo o bajarlo, y aleje el mástil y su zona de caída de las líneas eléctricas aéreas. Las baterías de plomo contienen ácido sulfúrico y desprenden hidrógeno explosivo al cargarse: guárdelas en una caja ventilada, lejos de chispas y de las habitaciones. Un cortocircuito en una batería puede fundir cables y provocar un incendio. No conecte nunca usted mismo un aerogenerador a la instalación de un edificio ni a la red: hace falta un inversor homologado y un electricista cualificado.

Historia y evolución

En julio de 1887, James Blyth, profesor en Glasgow, levantó un molino de cuatro velas de lona junto a su casa de vacaciones en Marykirk, Escocia. Su dinamo cargaba acumuladores que iluminaban la casa. En 1883 se había mostrado en Viena una dinamo movida por el viento, pero la de Blyth es la primera bien documentada en uso diario.

En el invierno de 1887-1888, Charles F. Brush construyó en Cleveland, Ohio, una dinamo eólica con 144 palas de cedro sobre una torre de 18 metros. Cargaba 12 baterías. Su dinamo suele darse como de 12 kW, aunque un

artículo de prensa posterior habla de 1,2 kW. Desde 1891, Poul la Cour ensayó aerogeneradores en Askov, Dinamarca; más tarde formó también a electricistas rurales para construirlos.

Las granjas estadounidenses compraron aerogeneradores de carga en gran número; solo los hermanos Jacobs fabricaron unos 20 000 antes de cerrar en 1956, cuando la red llegó al campo. El 19 de octubre de 1941 se conectó a la red en Vermont la turbina bipala Smith-Putnam, de 1,25 MW; en 1945 perdió una pala. En 1957, Johannes Juul construyó en Gedser, Dinamarca, una máquina de 200 kW con tres palas, regulación por pérdida aerodinámica y generador asíncrono. Este «concepto danés» marcó los aerogeneradores construidos desde finales de los años setenta.

La máquina de Brush en Cleveland: 144 palas de cedro en un rotor de 17 metros.

En 2025 se montó en China, para pruebas, un prototipo de 26 MW con un rotor de 310 metros. Ese año, el viento produjo el 8,5 % de la electricidad mundial.

Cifras clave

Primera electricidad eólica de uso regular
James Blyth, Marykirk (Escocia), julio de 1887

Límite de Betz
Como máximo el 59,3 % (16/27) de la potencia del viento; los grandes rotores llegan a cerca del 48 %

Parte de la electricidad mundial
8,5 % en 2025

Potencia del viento
$P = ½·ρ·A·v^3$: el doble de velocidad da ocho veces más potencia

Rango de trabajo
Arranca hacia 3-5 m/s; se detiene por encima de unos 25-29 m/s

Fuentes

1. July 1887: James Blyth harnesses the wind · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2022/07/james-blyth-harnesses-wind
2. James Blyth (1839-1906) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org//biography/james-blyth-1839-1906
3. Charles Brush Used Wind Power 120 Years Ago · Teaching Cleveland https://teachingcleveland.org/charles-brush-used-wind-power-120-years-ago/
4. Charles Brush and Some Notes on Early Wind Turbine Development (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/charles-brush-and-some-notes-on-early-wind-turbine-development/
5. Charles F. Brush · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_F._Brush
6. Old Wind and Electricity (Engines of Our Ingenuity, episode 552, J. H. Lienhard) · University of Houston https://engines.egr.uh.edu/episode/552
7. Poul la Cour · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Poul_la_Cour
8. The inventor who turned a folk high school into a laboratory · Carlsberg Foundation https://carlsbergfondet.dk/en/anniversary-stories/the-inventor-who-turned-a-folk-high-school-into-a-laboratory/
9. Flashbacks: The First Wind Power Boom · NRECA, RE Magazine https://www.cooperative.com/remagazine/articles/Pages/Flashbacks-The-First-Wind-Power-Boom.aspx
10. Original Company · Jacobs Wind https://jacobswind.net/history/original-company/
11. 79th anniversary of first wind turbine interconnection with the grid in North America (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/79th-anniversary-of-first-wind-turbine-interconnection-with-the-grid-in-north-america/
12. Gedser wind turbine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gedser_wind_turbine
13. How a Wind Turbine Works (text version) · U.S. Department of Energy, Wind Energy Technologies Office https://www.energy.gov/eere/wind/how-wind-turbine-works-text-version
14. Betz limit · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz_limit
15. Simulation of Variable Speed Wind Turbines based on Open-Source Solutions (2021) · International Journal of Electrical Engineering & Education, via arXiv https://arxiv.org/pdf/2103.01759
16. Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development (NREL/TP-500-38060, 2009) · National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy09osti/38060.pdf
17. Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide (DOE/GO-102007-2465, August 2007) · U.S. Department of Energy / National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy07osti/42005.pdf
18. World electricity data · Ember https://ember-energy.org/countries-and-regions/world/
19. Dongfang installs world's largest single-capacity offshore wind turbine for testing · offshoreWIND.biz https://www.offshorewind.biz/2025/09/03/dongfang-installs-worlds-largest-single-capacity-offshore-wind-turbine-for-testing

Datos verificados el 2026-10-14

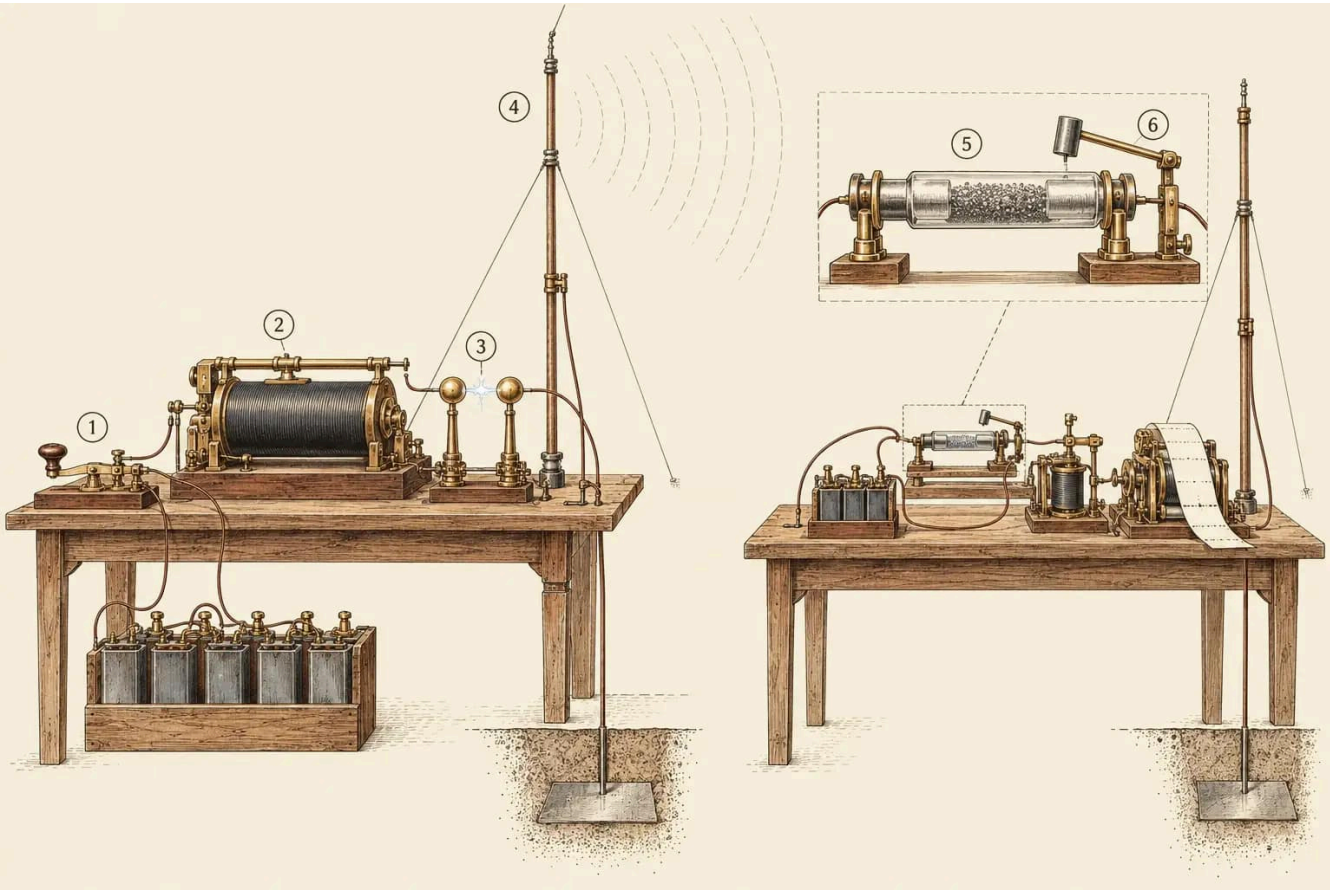
Radio

Mensajes sin cables

h. 1895 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Telégrafo eléctrico (p. 285), Generador eléctrico (p. 273)

Conduce a: Transistor (p. 361)



1 Manipulador Morse 2 Bobina de inducción 3 Explosor 4 Antena 5 Cohesor 6 Decohesor

La radio transmite señales a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas, generadas por una corriente que oscila muy deprisa en un hilo y captadas por otro hilo lejano. Guglielmo Marconi convirtió los experimentos de laboratorio en un telégrafo sin hilos operativo en 1895, y la radiodifusión de voz y música llegó a principios del siglo XX.

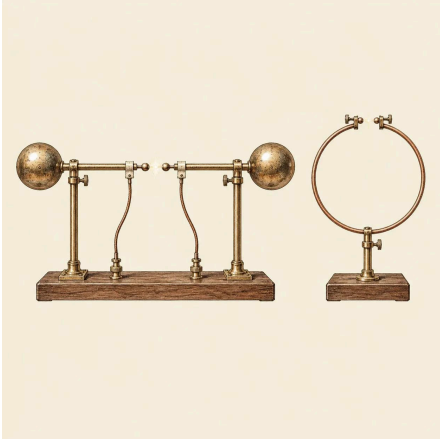
Qué es

Un transmisor de radio hace oscilar muy deprisa una corriente en un hilo, la antena, que emite ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz. Al llegar a otro hilo, las ondas inducen en él una copia diminuta de la corriente original, y un receptor la convierte en sonido o en marcas sobre papel.

La lámina muestra el primer sistema práctico, el telégrafo de chispa de Marconi de 1896, que solo enviaba los puntos y rayas del Morse. A principios de la década de 1920, las emisoras ya transmitían voz y música a los receptores de los hogares.

Cómo funciona

En el transmisor, una batería alimenta una bobina de inducción a través del manipulador Morse. La bobina eleva la tensión a muchos miles de voltios y carga dos bolas de latón separadas por un pequeño espacio, el explosor. Cuando la tensión es suficiente, salta una chispa que, mientras dura, deja que la carga oscile de un lado a otro por la antena a muy alta frecuencia. Cada chispa emite un breve tren de ondas. Una pulsación corta da un punto en el receptor; una larga, una raya.



Cuando saltaba una chispa en el oscilador de Hertz, otra chispa diminuta saltaba en el anillo, al otro lado de la sala.

Marconi levantó un largo hilo vertical sobre un mástil y conectó el otro lado del explosor a una placa metálica enterrada. Con esta antena a tierra, el alcance pasó de unos cientos de metros a varios kilómetros.

En un detector de bigote de gato, un hilo fino apoyado en un cristal de galena deja pasar la corriente en un solo sentido.

El receptor tenía también antena y tierra, con un cohesor entre ambas: un tubito de vidrio con limaduras metálicas sueltas entre dos tapones de plata. Las limaduras suelen conducir mal, pero las ondas las hacen adherirse y conducir; entonces la corriente de una pila local pasa por ellas y acciona un relé, que mueve un timbre o un registrador Morse. Luego un martillito, el decohesor, golpea el tubo para soltar las limaduras antes de la señal siguiente.

Los transmisores de chispa repartían su energía por una amplia banda de frecuencias y se interferían. Los circuitos sintonizados, de bobina y condensador, mantuvieron a cada estación en su frecuencia. Los transmisores posteriores emitían una onda continua cuya intensidad seguía la voz: la modulación de amplitud, o AM. En el receptor, un detector, primero un cristal y luego una válvula de vacío, elimina la onda de radio y deja el sonido.

Cómo construirla

La radio más sencilla es la de galena. No necesita pila: toda su energía viene de las ondas de la emisora. La bobina y el condensador de abajo sintonizan buena parte de la onda media de AM, según la antena, y el aparato funciona mejor al alcance de un transmisor potente.

Tender una antena. Extender entre 15 y 30 metros de hilo de cobre, lo más alto y recto posible, entre dos árboles o postes, con aisladores en los extremos, y llevar un cable desde la antena hasta el receptor.

Hacer una toma de tierra. Clavar un metro en suelo húmedo una varilla de cobre o acero galvanizado y conectarla con un cable corto y grueso. No usar nunca una tubería de gas.

Bobinar. Sobre un tubo de cartón o plástico de unos 8 cm de diámetro, arrollar de 60 a 90 espiras juntas de hilo de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm. Hacer una toma cada diez espiras y raspar el esmalte donde se vaya a conectar.

Añadir un condensador de sintonía. Un condensador variable de unos 350 a 500 picofaradios como máximo, comprado o sacado de una vieja radio de pilas y conectado en paralelo con la bobina, selecciona las emisoras. No abrir aparatos antiguos conectados a la red: sus condensadores pueden conservar una carga peligrosa mucho después de desenchufarlos. Sin condensador variable, aún se puede sintonizar a grandes rasgos pasando la antena de una toma a otra.

Montar un detector. Lo más fácil es un diodo de germanio. Con paciencia, también funciona un trozo de galena rozado por un hilo fino.

Conectar y escuchar. Conectar la tierra al extremo inferior de la bobina y la antena a una de las tomas: con menos espiras se sintonizan frecuencias más altas, con más espiras más bajas, y una antena larga suele funcionar mejor en una toma intermedia. Unir en serie el detector y el auricular, y conectar ese par también entre los extremos de la bobina. Usar un auricular de cristal de alta impedancia con una resistencia de unos 50 a 100 kilohmios en paralelo, o unos auriculares antiguos de alta impedancia; los modernos, de baja impedancia, cargan demasiado el circuito. Girar despacio el condensador.

> **Seguridad.** Una antena exterior atrae los rayos: desconectarla y conectarla a tierra antes de que se acerque una tormenta, y no tocarla nunca durante ella. La toma de tierra del aparato no protege contra el rayo; una antena exterior permanente necesita un pararrayos y una puesta a tierra instalados según la normativa local. Mantener los cables lejos de las líneas eléctricas, cuyo contacto puede matar, y no subir a un tejado sin una escalera firme y otra persona presente. No construir un transmisor: la mayoría exige licencia, y los de chispa están prohibidos en todas partes porque interfieren con otros servicios. Las bobinas de inducción producen miles de voltios y dan descargas dolorosas y peligrosas.

Historia y evolución

En 1865 James Clerk Maxwell predijo que los campos eléctrico y magnético podían propagarse juntos como ondas. Entre 1886 y 1888, en Karlsruhe, Heinrich Hertz produjo esas ondas con chispas, las detectó al otro lado del laboratorio con un anillo de hilo y demostró que se comportaban como la luz. Édouard Branly (1890) y Oliver Lodge (1894) desarrollaron el cohesor, un tubo de limaduras metálicas que conduce cuando llegan las ondas. El 7 de mayo de 1895, Alexander Popov presentó en San Petersburgo un receptor con cohesor de golpeo automático, pensado para registrar tormentas lejanas.

Guglielmo Marconi, en la villa familiar Griffone, cerca de Bolonia, apuntó desde el principio a la telegrafía. En el verano de 1895, con una antena vertical a tierra, envió señales a unos dos kilómetros, más allá de la colina de los Celestini, y un ayudante al otro lado lo confirmó con un disparo. En 1896 se instaló en Inglaterra y solicitó la patente de su sistema. El 12 de diciembre de 1901, en Signal Hill, Terranova, él y George Kemp oyeron, con un hilo alzado por una cometa, los tres puntos de la letra S enviados desde Poldhu, en Cornualles. Algunos historiadores creen que fue solo ruido atmosférico, pero el servicio transatlántico regular comenzó en 1907.

La válvula tríodo amplificaba las señales débiles, lo que mejoró la recepción y ayudó a extender la radiodifusión.

El 21 de diciembre de 1906, Reginald Fessenden transmitió voz y música por radio desde Brant Rock, Massachusetts, ante testigos invitados. Más tarde escribió que en Nochebuena había emitido un programa para barcos en alta mar; ese relato data de 1932, y no se ha encontrado ningún registro de él de 1906. El 2 de noviembre de 1920, la emisora KDKA de Westinghouse, en Pittsburgh, transmitió los resultados de las presidenciales, y en la década de 1950 los transistores hicieron que las radios cupieran en un bolsillo.

Cifras clave

Demostración de las ondas de radio
Heinrich Hertz, de 1886 a 1888

Recepción transatlántica anunciada por Marconi
12 de diciembre de 1901, la letra S en Morse

Las señales de Marconi cruzan una colina
Unos 2 km, verano de 1895

Voz y música por radio
21 de diciembre de 1906, demostración de Fessenden en Brant Rock

Fuentes

1. Milestones: Marconi's Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Marconi%27s_Early_Experiments_in_Wireless_Telegraphy,_1895
2. Milestones: Reception of Transatlantic Radio Signals, 1901 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Reception_of_Transatlantic_Radio_Signals,_1901
3. Milestones: Popov's Contribution to the Development of Wireless Communication, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Popov%27s_Contribution_to_the_Development_of_Wireless_Communication,_1895
4. Experiments and Results in Wireless Telephony (John Grant, 1907) · The American Telephone Journal, via earlyradiohistory.us https://earlyradiohistory.us/1907fes.htm
5. Results by Radio: Election Day 1920 · The Henry Ford https://www.thehenryford.org/collections/explore/articles/detail/articles/2020/10/15/results-by-radio-election-day-1920
6. Fessenden: World's First Broadcaster? · Radio World (James O'Neal) https://www.radioworld.com/news-and-business/fessenden-worlds-first-broadcaster
7. Circular 120: Construction and Operation of a Simple Homemade Radio Receiving Outfit (1922) · US Bureau of Standards, via NIST https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/circ/nbscircular120.pdf
8. Simple Inductance Formulas for Radio Coils (H. A. Wheeler, 1928) · Proceedings of the IRE https://doi.org/10.1109/JRPROC.1928.221309
9. Amateur Radio After World War One (1919-1925): 360 and 485 metres set aside for broadcasting, 1921 · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/sec015.htm
10. Government Agricultural Broadcasting: 485 metres for crop reports and weather forecasts · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/agric.htm

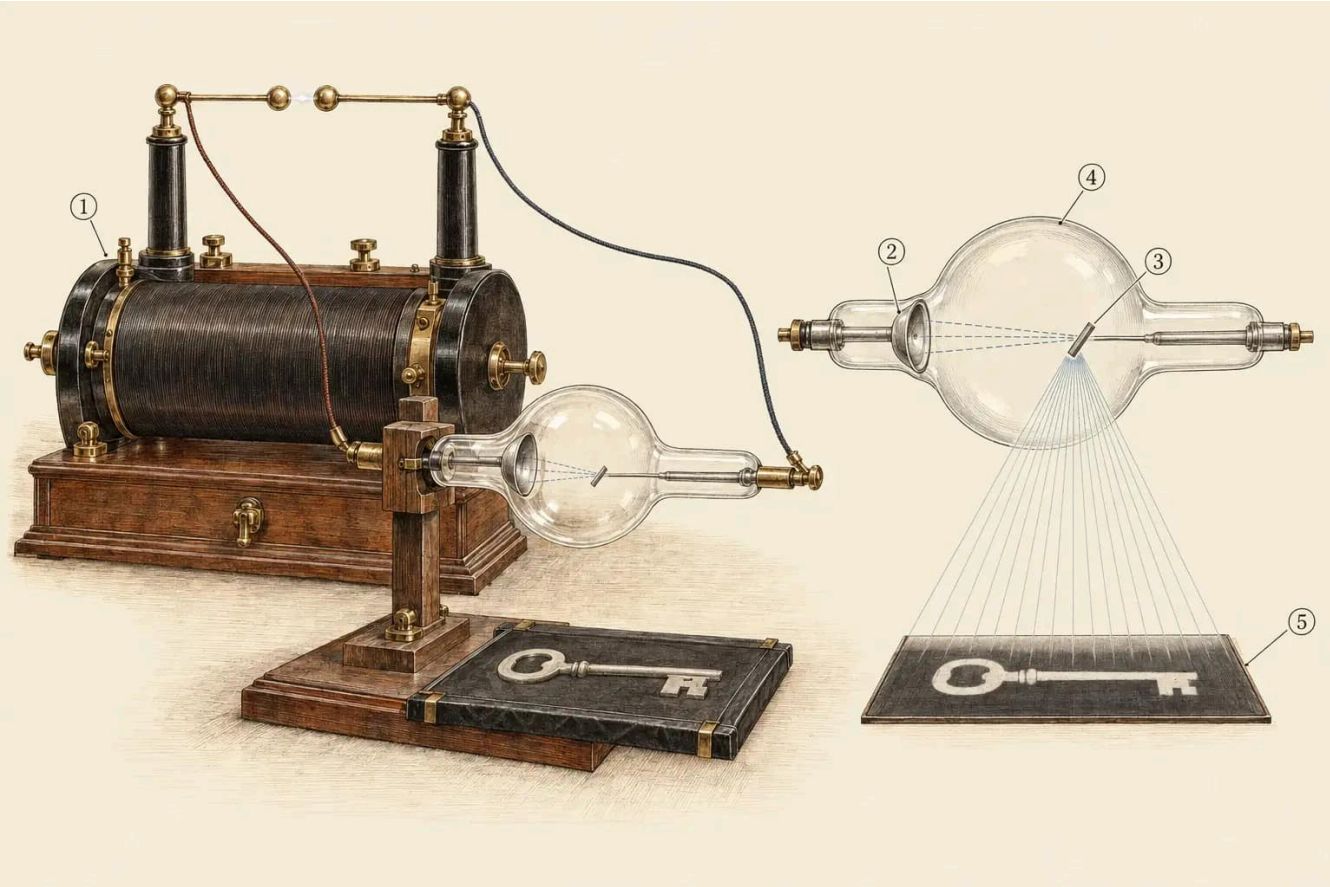
Datos verificados el 2026-10-11

Radiografía

Ver a través del cuerpo

1895 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Generador eléctrico (p. 273), Fotografía (p. 260)



1 Bobina de inducción 2 Cátodo cóncavo 3 Anticátodo de platino inclinado 4 Ampolla de vidrio 5 Placa fotográfica

La radiografía utiliza rayos invisibles y penetrantes que atraviesan el cuerpo y llegan a una placa o a un detector, de modo que los huesos y los tejidos densos proyectan su sombra. Wilhelm Röntgen descubrió esos rayos en Wurzburgo el 8 de noviembre de 1895, y a comienzos de 1896, pocas semanas después de su anuncio, médicos de Europa y América los usaban para localizar fracturas y balas.

Qué es

Los rayos X son ondas electromagnéticas como la luz, pero con una longitud de onda mucho más corta, de unos 0,01 a 10 nanómetros frente a 400 a 700 en la luz visible, lo que les permite atravesar materiales que detienen la luz. La materia densa absorbe más que la ligera, así que un objeto colocado entre una fuente de rayos X y una placa sensible deja en ella una imagen en sombra de su interior: el hueso, que contiene calcio, destaca con claridad sobre la carne que lo rodea.

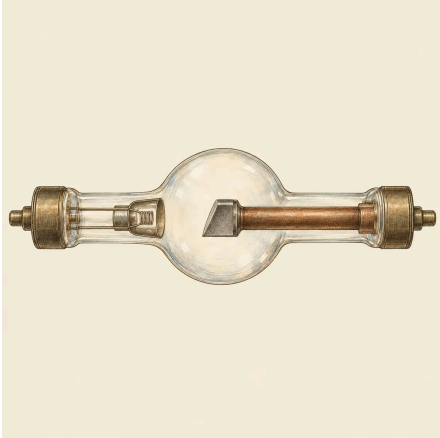
El aparato de la lámina es del tipo usado en 1896 y en los años siguientes. Una bobina de inducción convierte la baja tensión de una pila en decenas de miles de voltios. Dos cables llevan esa tensión a un tubo «focus», una ampolla de vidrio casi vacía de aire, con un cátodo cóncavo de aluminio en un extremo y, en el centro, una

pequeña placa de platino, el anticátodo, inclinada 45 grados. Bajo el tubo descansa una placa fotográfica envuelta en papel negro, con el objeto que se va a radiografiar encima.

Cómo funciona

El tubo conserva una traza de gas. La alta tensión lo ioniza, y los iones positivos, al chocar con el cátodo, le arrancan electrones que la tensión lanza después a través del tubo. Estos rayos catódicos, como se los llamaba entonces, son corrientes invisibles de electrones, y la cantidad de gas que queda en el tubo determina su comportamiento. El cátodo cóncavo los concentra en una pequeña mancha del anticátodo de platino. Cuando los electrones rápidos se frenan en el metal, una pequeña parte de su energía sale en forma de rayos X; casi todo lo demás se convierte en calor. Los rayos X salen del blanco en muchas direcciones; como está inclinado, un haz útil sale de lado a través del vidrio hacia la placa fotográfica, mientras el resto se dispersa por la sala si no hay blindaje.

Los rayos salen en línea recta de esa pequeña mancha, y por eso importa: cuanto más pequeña, más nítidas las sombras. Donde los rayos pasan con facilidad, por el aire o la carne, ennegrecen la emulsión fotográfica; donde el hueso o el metal los absorben, la placa queda más clara. Positivada o mirada directamente, la placa muestra el esqueleto de una mano, una moneda en un monedero o una bala en un miembro.



El tubo de Coolidge de 1913: un filamento de tungsteno caliente aporta los electrones, de modo que la emisión puede regularse con precisión.

Los primeros tubos de gas eran caprichosos: su comportamiento cambiaba a medida que se agotaba el gas que quedaba. En 1913, William Coolidge, de General Electric, hizo un tubo de alto vacío cuyo cátodo era un filamento de tungsteno caliente. La corriente, y con ella la cantidad de rayos X, se regulaba ahora con la temperatura del filamento, y su poder de penetración con la tensión, lo que hizo repetibles las dosis. Los tubos modernos siguen ese principio.

Cómo construirlo

Un aparato de rayos X no puede construirse con seguridad en casa, y en la mayoría de los países manejarlo exige una licencia. Los rayos X dañan las células vivas sin que se note; los primeros operadores lo aprendieron con quemaduras, amputaciones y cánceres mortales. Esta sección describe cómo se fabricaban las primeras máquinas en los laboratorios y propone después dos experimentos sencillos que muestran los mismos principios.

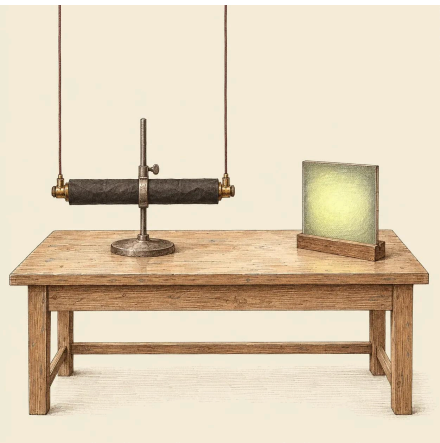
Cómo se hacía en 1896. Los fabricantes de instrumentos devanaban kilómetros de hilo fino forrado de seda sobre un núcleo de hierro, alimentaban las bobinas con pilas a través de un interruptor vibrante y las conectaban a tubos hechos por sopladores de vidrio. Los tubos se vaciaban durante horas con bombas de mercurio, se sellaban y se iban ajustando hasta que daban rayos estables. Bajo el tubo se ponía un chasis envuelto en papel negro; una mano necesitaba al principio varios minutos de exposición, a veces muchos más, y menos a medida que mejoraban los tubos.

Ver sombras con luz. En una habitación a oscuras, fije una linterna potente a unos 2 m de una pared y sostenga un lápiz a medio camino. Tape la linterna con una cartulina con un agujero de 5 mm y luego quítela para que alumbre toda la lente: la fuente pequeña da una sombra nítida y la grande bordes borrosos, igual que una mancha focal pequeña en un tubo de rayos X. Luego apoye la linterna contra la yema de un dedo: la yema brilla en rojo, porque la luz roja atraviesa un centímetro de carne.

Ver la fluorescencia. Röntgen se fijó en los rayos porque una pantalla cubierta de platinocianuro de bario se iluminaba. Con un adulto a cargo y siguiendo las instrucciones de seguridad de la lámpara, ilumine a oscuras un vaso de agua tónica con una linterna ultravioleta de baja potencia, de tipo «UV-A» de 365 nm: la quinina que contiene absorbe esa luz invisible y brilla en azul. La tinta de los rotuladores fluorescentes y algunos detergentes hacen lo mismo.

> **Seguridad.** No conecte nunca válvulas de vacío antiguas ni tubos de rayos catódicos a alta tensión: cuando los electrones chocan con el vidrio o el metal de su interior, pueden emitir rayos X. Las bobinas de inducción y otras fuentes de alta tensión pueden dar descargas peligrosas o mortales. La luz ultravioleta daña ojos y piel: no mire nunca dentro de la linterna, mantenga el haz lejos de ojos y piel, use gafas que bloqueen el UV y elija una linterna de baja potencia vendida solo para UV-A. Las radiografías médicas las hace personal formado, con la dosis más baja que permita la exploración.

Historia y evolución



El descubrimiento de Röntgen: un tubo envuelto en cartón negro y, al lado, una pantalla fluorescente que brilla de todos modos.

La tarde del 8 de noviembre de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, catedrático de física en Wurzburgo, estudiaba una descarga eléctrica en un tubo envuelto en cartón negro. Una pantalla de papel cubierta de platinocianuro de bario, colocada a cierta distancia, se iluminaba cada vez que conectaba el tubo, aunque ninguna luz podía salir del cartón. En las semanas siguientes, trabajando solo, demostró que aquellos rayos desconocidos atravesaban el papel, la madera y la carne, pero el hueso y metales como el plomo los absorbían con mucha más fuerza. El 22 de diciembre fotografió la mano de su esposa, Anna Bertha, en la que se ven los huesos y su anillo. Su artículo «Sobre una nueva clase de rayos» apareció a finales de mes.

La noticia se difundió a una velocidad extraordinaria, y en un año aparecieron unas mil publicaciones sobre los rayos X. A comienzos de 1896, Herbert Jackson en Londres y otros construyeron tubos «focus» con cátodo cóncavo y blanco metálico inclinado, que daban imágenes mucho más nítidas. Los cirujanos los usaron para localizar balas y agujas; los hospitales montaron salas de rayos X. Röntgen recibió en 1901 el primer Premio Nobel de Física.

Desde principios de 1896, la placa mostraba al cirujano dónde estaba una aguja o una bala antes de operar.

Al principio no se comprendió el peligro. Ya en 1896 se informó de quemaduras y caída del cabello, y muchos de los primeros operadores sufrieron lesiones desfigurantes; Clarence Dally, ayudante de Thomas Edison, murió en 1904 tras años de exposición. Llegaron después las pantallas de plomo, los límites de dosis y la formación. En 1912, el equipo de Max von Laue demostró que los rayos X son ondas al difractarlos en cristales, lo que abrió el estudio de las estructuras cristalinas. La tomografía computarizada, que reconstruye cortes a partir de muchas medidas con rayos X, valió el Premio Nobel de 1979 a Godfrey Hounsfield y Allan Cormack.

Cifras clave

Descubrimiento
8 de noviembre de 1895, Universidad de Wurzburgo

Publicación
«Über eine neue Art von Strahlen», finales de diciembre de 1895; unas 1000 publicaciones sobre rayos X en un año

Primer Premio Nobel de Física
Röntgen, 1901

Primera radiografía de una mano
La de Anna Bertha Röntgen, 22 de diciembre de 1895

Tubo de cátodo caliente
William Coolidge, 1913

Fuentes

1. Wilhelm Conrad Röntgen: biographical · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/biographical/
2. Röntgen discovers X-rays · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=550
3. Jackson X-ray tube (ca. 1896) · ORAU Health Physics Historical Instrumentation Museum https://www.orau.org/health-physics-museum/collection/x-ray-discharge/after-roentgen-tubes/jackson-x-ray-tube.html
4. Original Coolidge x-ray tube · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32668/original-coolidge-x-ray-tube
5. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979 · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/summary/
6. History of radiation protection · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_radiation_protection
7. John Francis Hall-Edwards: a radiology pioneer · Hektoen International https://hekint.org/2020/06/23/john-francis-hall-edwards-a-radiology-pioneer/
8. Blue plaque: Major Dr John Francis Hall-Edwards · Birmingham Civic Society https://birminghamcivicsociety.org.uk/blue-plaque-major-dr-john-francis-hall-edwards/
9. X-Ray Mass Attenuation Coefficients (NIST Standard Reference Database 126) · National Institute of Standards and Technology https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/
10. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students, chapter 5 · International Atomic Energy Agency https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564webNew-74666420.pdf
11. Characteristics of a first-generation x-ray system · Radiology (Radiological Society of North America) https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.11101899
12. X-ray (the Duane–Hunt law) · Encyclopaedia Britannica https://www.britannica.com/science/X-ray

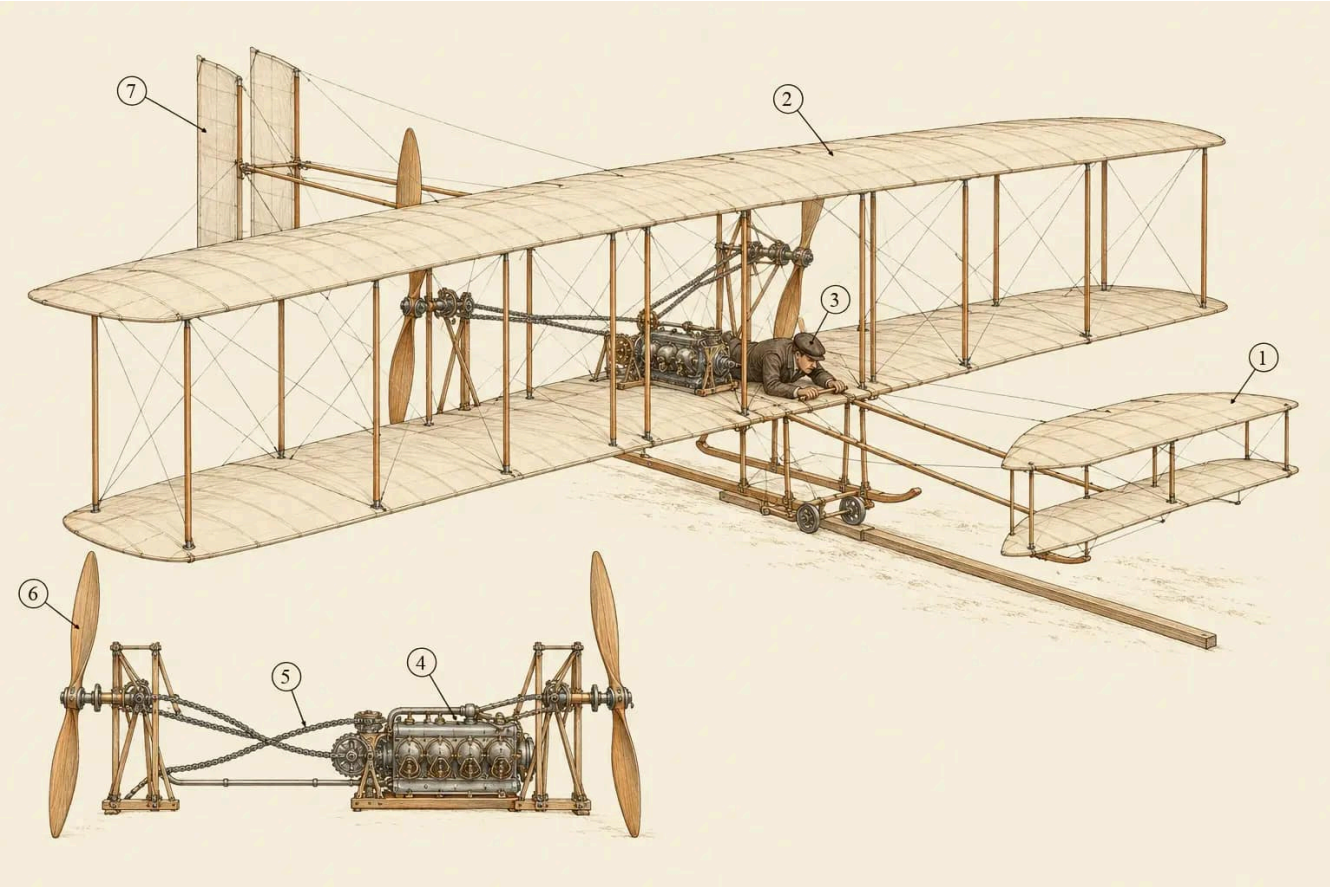
Datos verificados el 2026-10-12

Avión

Sustentación, empuje y control

1903 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Motor de combustión interna (p. 313), Aluminio (p. 335)



1 Timón de profundidad delantero 2 Ala superior 3 Cuna del piloto 4 Motor 5 Cadena de transmisión 6 Hélice 7 Timones de dirección gemelos

Un avión es una máquina propulsada, más pesada que el aire, que vuela con alas fijas, con un motor que la impulsa hacia delante y superficies móviles para dirigirla. Wilbur y Orville Wright lograron los primeros vuelos propulsados, controlados y sostenidos en Kitty Hawk el 17 de diciembre de 1903.

Qué es

Un avión vuela porque el aire que fluye alrededor de sus alas lo sostiene. A diferencia de un globo, pesa más que el aire que atraviesa, así que tiene que moverse sin parar para mantenerse en el aire. Necesita tres cosas a la vez: alas que produzcan sustentación, un motor con hélice (o un reactor) que empuje la máquina contra la resistencia del aire, y unos mandos que permitan al piloto mantenerla equilibrada y llevarla adonde quiere.

La máquina de la lámina es el Flyer de los hermanos Wright, de 1903: un biplano de pícea y fresno forrado de muselina sin blanquear. El piloto iba tumbado boca abajo sobre el ala inferior. A su lado, un pequeño motor de gasolina movía, mediante cadenas parecidas a las de una bicicleta, dos hélices de madera situadas detrás de las

alas. El timón de profundidad estaba delante y un par de timones de dirección detrás. No tenía ruedas y despegaba desde un riel de madera colocado sobre la arena.

Cómo funciona

Un ala es curva por arriba y va algo inclinada respecto al aire que llega. Desvía el aire hacia abajo, y el aire empuja el ala hacia arriba. La presión baja encima del ala y sube debajo; esa diferencia, repartida por toda la superficie, es la sustentación. Para un ala y un ángulo dados, la sustentación crece con el cuadrado de la velocidad, por lo que un avión necesita una velocidad mínima para volar. Inclinar más el ala solo aumenta la sustentación hasta cierto punto: más allá, el flujo se separa de la cara superior y el ala entra en pérdida.

El motor debe vencer la resistencia del aire. Los Wright consideraban sus hélices como alas giratorias y las diseñaron con datos de su propio túnel de viento. Las dos hélices giraban en sentidos opuestos para que sus efectos de torsión se anularan.

El aire que rodea un ala curvada se desvía hacia abajo, y el ala recibe a cambio un empuje hacia arriba.

El control fue la gran aportación de los Wright. Un avión puede girar sobre tres ejes. El cabeceo (morro arriba o abajo) se regulaba con el timón de profundidad delantero, que el piloto movía con una palanca en la mano izquierda. El alabeo (inclinar las alas) se lograba torciendo las alas: al desplazar las caderas en la cuna, el piloto tiraba de cables que retorcían las puntas de las alas en sentidos opuestos, de modo que una sustentaba más que la otra. La misma cuna movía los timones de dirección para que el morro no se desviara hacia el lado equivocado en los giros. Más tarde los alerones, unas aletas articuladas en las alas, sustituyeron a la torsión, pero el principio de los tres ejes no ha cambiado.

Cómo construirlo

Los primeros aviones salieron de pequeños talleres que dominaban la carpintería y la fabricación de bicicletas. Lo que sigue explica las decisiones que hay que tomar y cómo trabajaban los pioneros. No es un plano, y nadie debería volar un aparato de construcción casera sin formación, sin inspección y sin las autorizaciones que exija su país.

Probar antes de construir. Los Wright volaron planeadores en 1900, 1901 y 1902, y en 1901 construyeron un pequeño túnel de viento para medir la sustentación y la resistencia de maquetas de alas. Sus propias tablas sustituyeron datos publicados anteriormente que habían resultado erróneos.

Una estructura de madera ligera y de fibra recta. Largueros y montantes eran de pícea, y las costillas curvadas de fresno. El conjunto era una caja arriostrada: los montantes mantenían separadas las dos alas y entre ellos se cruzaban cables de acero. Los tramos centrales iban rígidamente arriostrados, mientras que las partes exteriores de las alas podían torcerse un poco para el alabeo.

Entelar las alas. La muselina se cortaba al bies y se tensaba sobre las costillas, con los hilos en diagonal, lo que reforzaba el entelado.

Conseguir un motor ligero. Los Wright no encontraron ningún fabricante dispuesto a suministrarles un motor lo bastante ligero y potente, así que su mecánico Charlie Taylor construyó en unas seis semanas un motor de cuatro cilindros refrigerado por agua, con el cárter fundido en aluminio para ahorrar peso.

Equilibrarlo. En sentido longitudinal, el centro de gravedad tiene que quedar en el lugar adecuado respecto a la sustentación; si no, la máquina se encabrita o cae en picado. Lateralmente, los pesos también deben compensarse: como el motor iba a un lado del piloto, los Wright alargaron un poco el ala derecha.

> **Seguridad.** Una hélice en movimiento es invisible y puede matar: no se coloque nunca en su radio de giro ni arranque un motor a mano sin formación. La gasolina y sus vapores se inflaman con facilidad. Las estructuras de madera y tela fallan sin aviso si una unión o un cable están dañados. Volar exige formación, un aparato en buen estado e inspeccionado y un tiempo adecuado.

Historia y evolución

Lilienthal dirigía sus planeadores desplazando el cuerpo bajo las alas.

El enfoque moderno del vuelo comenzó con el inglés George Cayley, que hacia 1799 separó los tres problemas de la sustentación, la propulsión y el control, y más tarde hizo volar planeadores. En Alemania, en la década de 1890, Otto Lilienthal realizó unos dos mil vuelos planeados desde colinas y publicó sus mediciones. Murió en 1896 tras un accidente.

Wilbur y Orville Wright tenían un negocio de bicicletas en Dayton, Ohio. Estudiaron las investigaciones aeronáuticas anteriores, entre ellas las de Lilienthal, y después probaron sus ideas con cometas y planeadores en Kitty Hawk, Carolina del Norte, elegida por sus vientos constantes y su arena blanda.

El 17 de diciembre de 1903, Orville voló con el Flyer durante 12 segundos y recorrió unos 37 metros (120 pies). Los hermanos hicieron otros tres vuelos ese día; el último, con Wilbur a los mandos, duró 59 segundos y cubrió unos 260 metros. Después, una ráfaga volcó la máquina, que no volvió a volar. Desde 1948 está en la Smithsonian, en Washington.

En su túnel de viento de 1901, los Wright midieron la sustentación y la resistencia de muchas maquetas de alas.

Otros siguieron pronto. Alberto Santos-Dumont voló en París en 1906 y Louis Blériot cruzó el canal de la Mancha en 1909. La Primera Guerra Mundial convirtió la aviación en una industria. En la década de 1930 los monoplanos metálicos sustituyeron a los biplanos de madera, y al final de la década aparecieron los motores a reacción. Hoy los aviones de pasajeros llevan a varios cientos de personas a través de los océanos, y sus mandos siguen actuando sobre los mismos tres ejes en los que los Wright lograron por primera vez un control eficaz.

Cifras clave

Primer vuelo
17 de diciembre de 1903, 12 segundos, unos 37 m

Vuelo más largo del día
59 segundos, unos 260 m (Wilbur Wright)

Envergadura del Flyer de 1903
12,3 m

Motor
4 cilindros, unos 12 CV, cárter de aluminio

Peso
274 kg en vacío, 341 kg con piloto

Fuentes

1. 1903 Wright Flyer · Smithsonian National Air and Space Museum https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000
2. The Wright Flyer · US National Park Service https://www.nps.gov/articles/wrightflyer.htm
3. 1903 Engine · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Engine.htm
4. Otto Lilienthal · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal
5. 1903 Wright Flyer Specifications · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Help_with_Homework/Wright_Plans/Wright_Plans_images/1903_Wright_Flyer_Specifications_Isometric_11x17.pdf
6. 1903 Wright Propellers · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Props.htm
7. Wright 1903 Aircraft Engine Parts · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/engparts.html

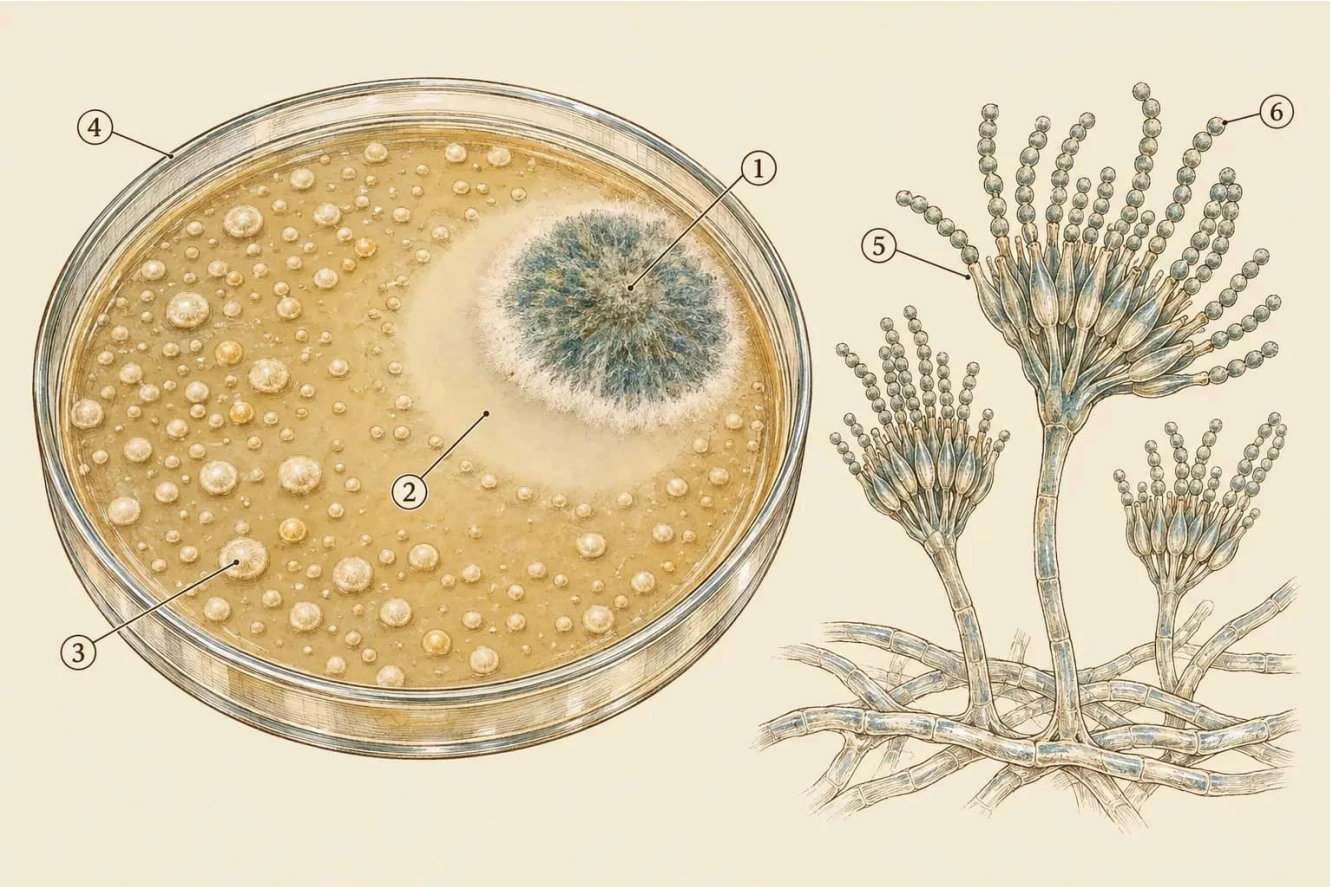
Datos verificados el 2026-10-11

Penicilina

Un antibiótico producido por un moho

1928 · Era eléctrica · Era eléctrica

Requiere: Vidrio (p. 132), Vacunación (p. 234), Higiene y antisepsia (p. 298)



1 Colonia de Penicillium 2 Halo claro alrededor del moho 3 Colonias bacterianas 4 Placa de Petri de vidrio
5 Cabeza esporífera en forma de pincel 6 Cadena de esporas

La penicilina es una sustancia producida por mohos del género Penicillium que mata muchos tipos de bacterias al impedirles construir su pared celular. Alexander Fleming la observó en 1928, y un equipo de Oxford la convirtió, durante la Segunda Guerra Mundial, en el primer antibiótico procedente de un moho de uso médico general.

Qué es

La penicilina es un antibiótico, es decir, un medicamento que mata las bacterias o detiene su crecimiento. A diferencia de las sulfamidas sintéticas de los años treinta, surgidas de la investigación sobre colorantes, la produce un ser vivo. La fabrican ciertas cepas de *Penicillium*, un género que incluye los mohos verdiazules del pan duro y la fruta. Una vez purificada, la penicilina se convirtió en el primer antibiótico procedente de un moho que los médicos pudieron usar de forma general, y cambió el pronóstico de infecciones a menudo mortales, como la septicemia, la neumonía o las heridas infectadas. El moho de los alimentos, en cambio, no es un medicamento y puede ser perjudicial.

A la izquierda, la lámina muestra la famosa observación de Fleming: una placa de vidrio con colonias bacterianas en la que una espora de moho cayó por azar y formó una colonia, rodeada de un anillo claro donde las bacterias han muerto. A la derecha, el propio moho al microscopio. Sus esporas crecen en cadenas sobre pequeñas cabezas en forma de pincel, que dieron nombre al género, del latín *penicillus*, pincel pequeño.

Cómo funciona

La mayoría de las bacterias son células únicas envueltas en una pared resistente que les da forma frente a la presión del agua de su interior. Esa pared es una malla de cadenas de azúcares unidas por cortos puentes peptídicos. Mientras la célula crece y se divide, corta y reconstruye esa malla sin parar.

La penicilina bloquea las enzimas bacterianas que forman esos puentes. La célula sigue creciendo, pero su pared nueva es débil; el agua entra y la célula revienta. Las células humanas y animales no tienen una pared así, y por eso la penicilina puede matar bacterias respetando en gran medida las células del paciente. En el centro de la molécula hay un anillo tenso de cuatro átomos, el anillo betalactámico, que reacciona con esas enzimas y las deja fuera de combate.

La penicilina actúa sobre todo contra bacterias de pared gruesa y expuesta, como los estreptococos y los neumococos. La bacteria de la sífilis tiene una pared fina encerrada entre dos membranas, pero también es muy sensible a la penicilina. La penicilina no tiene ningún efecto sobre los virus, que carecen por completo de pared celular.

Las bacterias pueden volverse resistentes. Algunas fabrican una enzima, la penicilinasa, que corta el anillo betalactámico antes de que actúe. Cada uso de un antibiótico favorece a las bacterias que sobreviven, y la resistencia se extiende allí donde los antibióticos se usan sin cuidado. Fleming ya lo advirtió en su conferencia Nobel de 1945. Además, algunas personas son alérgicas a la penicilina, a veces de forma grave. Los antibióticos son medicamentos que solo deben usarse con receta médica.

Cómo se fabrica

Entre 1940 y 1945 cambiaron varias veces los métodos para cultivar el moho, extraer el medicamento del caldo y medirlo.

Cultivo en superficie en Oxford. El equipo de Florey cultivaba la cepa de Fleming, *Penicillium notatum*, en forma de fieltro que flotaba sobre una capa poco profunda de caldo nutritivo. Norman Heatley empezó usando cualquier cosa con un fondo ancho y plano, como cuñas de hospital, latas de galletas o moldes de tarta, y después diseñó un recipiente rectangular de cerámica que podía apilarse tumbado durante la incubación. Una alfarería de Staffordshire, James Macintyre & Co., fabricó varios cientos, y los primeros se sembraron en la Navidad de 1940. Un pequeño equipo de mujeres jóvenes, apodadas las *penicillin girls*, sembraba las esporas, retiraba el caldo una vez que el moho en crecimiento había liberado en él la penicilina y mantenía los recipientes en marcha día y noche.

Norman Heatley diseñó recipientes de cerámica como estos para cultivar el moho en cantidad en Oxford.

Extracción. El caldo contenía apenas una pizca de penicilina, y el medicamento se degradaba en pocas horas con el calor o en medio ácido. Heatley aprovechó que la penicilina es un ácido. Acidificada y mantenida en frío, pasa del caldo a un disolvente que no se mezcla con el agua, primero

éter y luego acetato de amilo, menos inflamable. Si después se agita con agua ligeramente alcalina, vuelve al agua en forma de sal, en un volumen mucho menor y libre de buena parte de las impurezas. Con tubos de vidrio, frascos y bombas, Heatley construyó un aparato que hacía este trabajo de forma continua. La solución concentrada se liofilizaba luego hasta obtener un polvo marrón que se conservaba durante meses, aunque los primeros lotes eran sobre todo impurezas.

El ensayo de cilindros de Heatley: cuanto más potente es la muestra de un cilindro, más ancho es el anillo claro que lo rodea.

Medición. Mientras no se conoció su estructura, la penicilina solo podía medirse por su efecto sobre las bacterias. En el ensayo de cilindros en placa de Heatley, unos pequeños cilindros abiertos se colocan sobre una placa de agar sembrada con estafilococos y cada uno se llena con una muestra. La penicilina se difunde por el agar, y tras la incubación la anchura del anillo claro que rodea cada cilindro, comparada con la de un patrón, indica la potencia. El equipo de Oxford definió así su propia unidad y envió muestras a otros laboratorios. En 1944 y 1945, científicos británicos y estadounidenses acordaron una unidad internacional, equivalente a 0,6 microgramos de bencilpenicilina sódica pura y próxima a la unidad de Oxford, y prepararon muestras patrón.

Tanques profundos en Estados Unidos. En el Northern Regional Research Laboratory de Peoria, Andrew Moyer, que trabajaba con Heatley, multiplicó el rendimiento por diez aproximadamente a finales de 1941 añadiendo al caldo licor de maceración de maíz, un subproducto de la obtención de almidón de maíz. El laboratorio probó mohos enviados desde todo el mundo, y la mejor resultó ser una cepa de *Penicillium chrysogenum* (hoy clasificada como *P. rubens*) procedente de un melón cantalupo enmohecido comprado en Peoria. Las cepas derivadas de ella, entre ellas mutantes obtenidos con rayos X y luz ultravioleta, rindieron todavía más. El cambio de mayor alcance fue cultivar el moho en todo el volumen del líquido y no en su superficie, dentro de tanques cerrados de acero que se agitaban y recibían aire estéril. Pfizer ya empleaba este método para fabricar ácido glucónico, y el 1 de marzo de 1944 (según una fuente, en 1943) abrió en Brooklyn, en una antigua fábrica de hielo, la primera gran planta de penicilina, con catorce tanques de 7500 galones estadounidenses (unos 28 000 litros) cada uno. Un solo microbio intruso podía echar a perder un tanque entero, así que el caldo y los tanques se esterilizaban antes de añadir el moho, y el aire y las tuberías mantenían fuera otros organismos mientras crecía.

La fermentación en tanques profundos convirtió la penicilina en un producto industrial en Estados Unidos.

Penicilinas semisintéticas. La fermentación da sobre todo bencilpenicilina, o penicilina G, en especial cuando se añade al caldo ácido fenilacético, que el moho incorpora a la molécula. En 1957, unos químicos de los Beecham Research Laboratories, en Surrey, aislaron el núcleo desnudo de la molécula, el ácido 6-aminopenicilánico, y publicaron el trabajo en 1959. Uniendo nuevas cadenas laterales a ese núcleo, los químicos obtuvieron penicilinas que resisten el ácido del estómago, que aguantan la enzima bacteriana penicilinasa o que actúan sobre más tipos de bacterias, como la cloxacilina y la amoxicilina. Hoy el núcleo suele separarse de la penicilina fermentada con ayuda de una enzima, y antes de liberar cada lote las fábricas comprueban su identidad, su pureza y su potencia, y en las formas inyectables también su esterilidad.

> **Seguridad.** Esta sección describe cómo producían el medicamento los laboratorios y las fábricas. La penicilina no puede fabricarse en casa sin peligro: el moho del pan o de la fruta contiene muy poca o ninguna, puede pertenecer a especies que producen toxinas, y una preparación impura puede causar una infección grave o un choque. La penicilina también puede provocar reacciones alérgicas graves, y solo se usa con receta médica.

Historia y evolución

Desde hacía siglos se había notado que ciertos mohos parecían ayudar a curar las heridas, y en la década de 1890 varios investigadores informaron de que los mohos podían frenar a las bacterias. Ninguno de esos hallazgos dio lugar a un tratamiento.

Alexander Fleming, bacteriólogo del hospital de St Mary de Londres, se fue de vacaciones en el verano de 1928. Al volver, a principios de septiembre, vio que una placa de estafilococos se había contaminado con un moho y que las colonias cercanas se habían desvanecido. Cultivó el moho, demostró que su caldo mataba muchos tipos de bacterias, llamó penicilina a la sustancia activa y publicó sus resultados en 1929. Pero la penicilina era inestable y difícil de extraer, y Fleming no logró obtener suficiente en forma pura para tratar a enfermos.

Diez años después, en Oxford, Howard Florey y Ernst Chain retomaron el problema. Norman Heatley ideó cómo extraer y concentrar la penicilina, y el equipo cultivó el moho en cientos de recipientes. El 25 de mayo de 1940 infectaron a ocho ratones con estreptococos y trataron a cuatro. A la mañana siguiente, los cuatro ratones sin tratar habían muerto y los tratados seguían vivos. En febrero de 1941 un policía, Albert Alexander, fue uno de los primeros pacientes. Al principio mejoró, pero la reserva se agotó y murió.

La Gran Bretaña en guerra no podía producir penicilina a gran escala, así que en 1941 Florey y Heatley viajaron a Estados Unidos, donde un laboratorio público de Peoria, Illinois, y varias empresas farmacéuticas tomaron el relevo. En marzo de 1942, la reserva estadounidense alcanzaba para tratar a un solo paciente. En 1944 las fábricas producían lo suficiente para los ejércitos aliados, y desde el 15 de marzo de 1945 llegó a las farmacias estadounidenses por los canales comerciales normales.

Fleming, Florey y Chain compartieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1945. Ese mismo año Dorothy Hodgkin determinó la estructura de la penicilina mediante cristalografía de rayos X. Entretanto, la búsqueda de otros antibióticos había dado la estreptomicina, descubierta en 1943; siguieron las tetraciclinas y muchos más, y más tarde los químicos crearon nuevas penicilinas modificando la molécula.

Cifras clave

Observación de Fleming
Septiembre de 1928, hospital de St Mary, Londres

Experimento con ratones en Oxford
25 de mayo de 1940

Primera gran planta de tanques profundos
Pfizer, Brooklyn, 1 de marzo de 1944, catorce tanques de 7500 galones estadounidenses (unos 28 000 litros)

Primera publicación
Junio de 1929, British Journal of Experimental Pathology

Premio Nobel de Fisiología o Medicina
1945, Fleming, Florey y Chain

Fuentes

1. Alexander Fleming · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/alexander-fleming/
2. Howard Walter Florey · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp38732/howard-walter-florey
3. The real story behind the world's first antibiotic · PBS NewsHour https://www.pbs.org/newshour/health/the-real-story-behind-the-worlds-first-antibiotic
4. History of penicillin · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_penicillin
5. “It looks like a miracle”: penicillin production in Oxford · History of Science Museum, University of Oxford https://www.mhs.ox.ac.uk/backfromthedead/exhibition/production/
6. Pfizer's penicillin pioneers: Jasper Kane and John McKeen · The Chemical Engineer (IChemE) https://www.thechemicalengineer.com/features/cewctw-pfizers-penicillin-pioneers-jasper-kane-and-john-mckeen/
7. How a moldy cantaloupe took Fleming's penicillin from discovery to mass production · The Scientist https://the-scientist.com/how-a-moldy-cantaloupe-took-fleming-s-penicillin-from-discovery-to-mass-production-72304
8. Standardizing the 'magic bullet' · Inventing Europe https://www.inventingeurope.eu/story/standardizing-the-magic-bullet
9. The Discovery of Penicillin · Sir William Dunn School of Pathology, University of Oxford https://www.path.ox.ac.uk/centenary/the-discovery-of-penicillin/
10. Biochromatograms showing the first ever acylation of 6-APA · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8997116/biochromatograms-showing-the-first-ever-acylation-of-6-apa
11. Penicillin culture vessel, 1940–41 (National Museum of American History, M-06669) · Cooper Hewitt, Smithsonian Design Museum https://collection.cooperhewitt.org/objects/35457197/
12. Further observations on penicillin (The Lancet, 16 August 1941) · University of Oxford, NDORMS https://www.ndorms.ox.ac.uk/files/news/19410816_florey_furtherobservationsonpenicillin_lancet.pdf
13. Alexander Fleming, On the antibacterial action of cultures of a penicillium (1929), reprinted 2001 · Bulletin of the World Health Organization https://scielosp.org/article/bwho/2001.v79n8/780-790
14. Making penicillin in milk bottles: a tale of wartime antibiotic manufacture · The Pharmaceutical Journal https://pharmaceutical-journal.com/article/opinion/making-penicillin-in-milk-bottles-a-tale-of-wartime-antibiotic-manufacture

Datos verificados el 2026-10-12

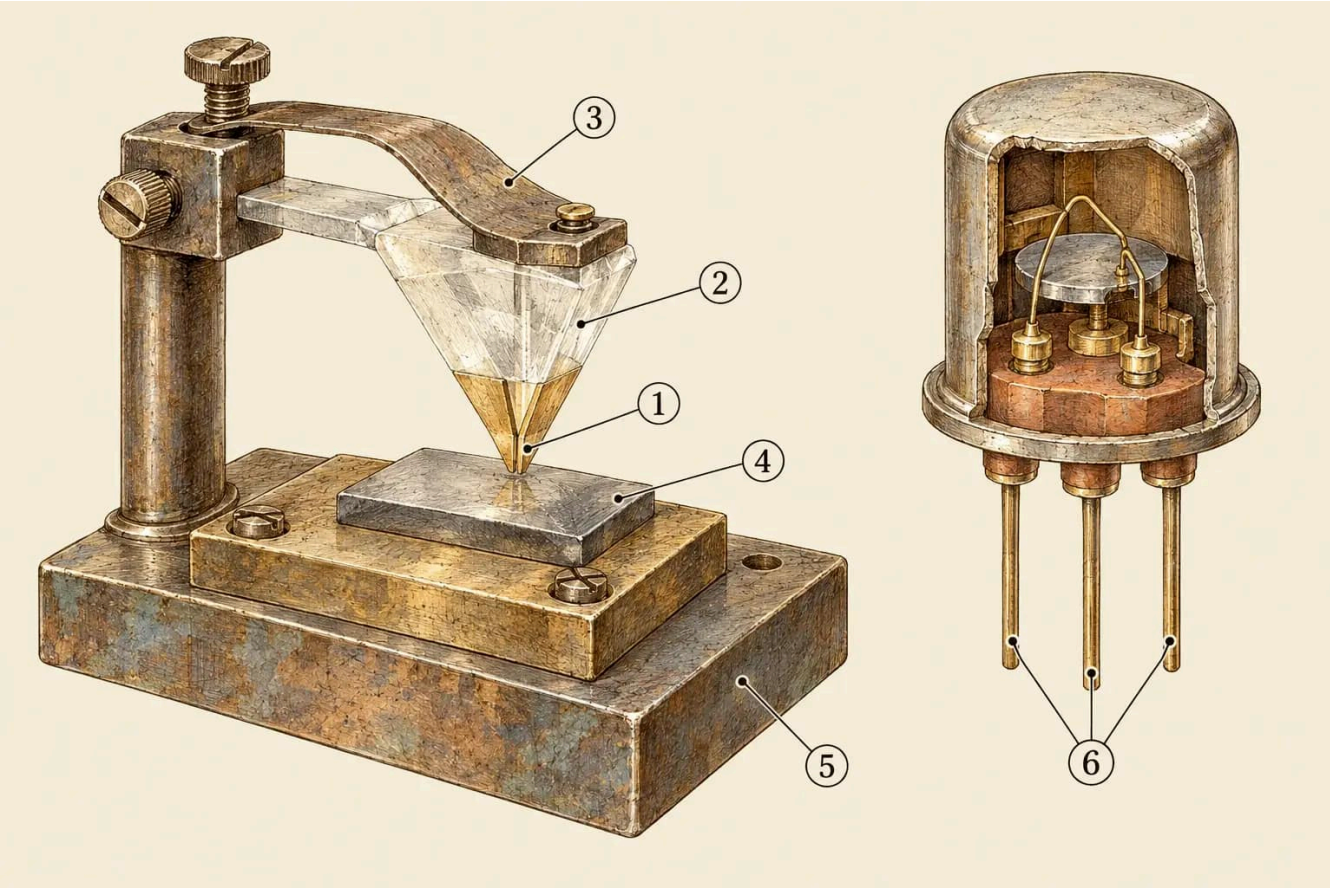
Transistor

Un interruptor sin piezas móviles

1947 · Época moderna · Era eléctrica

Requiere: Radio (p. 344)

Conduce a: Ordenador (p. 365), Célula solar (p. 370)



1 Contactos de lámina de oro 2 Cuña de plástico 3 Muelle 4 Placa de germanio 5 Base metálica 6 Terminales de un transistor de unión

Un transistor es una pequeña pieza de semiconductor en la que una corriente o una tensión débil controla una corriente mucho más fuerte, de modo que puede amplificar una señal o hacer de interruptor. John Bardeen y Walter Brattain fabricaron el primero en los Bell Labs en diciembre de 1947, y hoy un chip contiene miles de millones.

Qué es

Un transistor es una válvula de corriente eléctrica sin piezas móviles. Una pequeña corriente o tensión aplicada a un terminal controla una corriente mucho mayor entre los otros dos. Polarizado con una corriente o una tensión continua adecuada, reproduce una señal débil con mayor amplitud: eso es amplificar, lo que hace en una radio o un audífono. Conmutado entre plena conducción y bloqueo, funciona como interruptor, y un ordenador está hecho de miles de millones de esos interruptores.

A la izquierda, la lámina muestra el primer transistor, el dispositivo de contacto puntual que Bardeen y Brattain construyeron en 1947: una placa de germanio sobre una base metálica, contra la que un muelle aprieta una cuña de plástico. Una tira de lámina de oro pasa por la punta de la cuña y está cortada con una cuchilla, de modo que dos contactos de oro tocan el germanio a una fracción de milímetro uno del otro. A la derecha, un transistor de unión de los años cincuenta en su pequeña cápsula metálica, con tres terminales de alambre.

Cómo funciona

Los transistores se fabrican con semiconductores como el germanio o el silicio. Un cristal puro de estos elementos conduce mal. Una traza mínima de otro elemento, añadida mediante el dopado, eleva mucho su conductividad. El fósforo o el arsénico aportan electrones de sobra al cristal, y se obtiene material de tipo n. El boro o el galio dejan huecos que se comportan como cargas positivas, y se obtiene material de tipo p.

Donde se encuentran un material p y uno n se forma una unión que deja pasar la corriente con facilidad en un solo sentido. Un transistor de unión apila tres capas, n-p-n o p-n-p, llamadas emisor, base y colector. La base es muy delgada. En un transistor n-p-n, una pequeña corriente que entra por la base deja pasar del colector al emisor una corriente mucho mayor, a menudo cien veces mayor o más. En un transistor p-n-p todos los sentidos se invierten.

Antes de 1950 la válvula de vacío hacía el mismo trabajo, pero necesitaba un filamento caliente, una ampolla de vidrio y mucha más energía.

La mayoría de los transistores actuales son transistores de efecto de campo (MOSFET). En ellos, una tensión aplicada a una puerta, aislada del silicio por una fina capa de óxido, abre o cierra un estrecho canal conductor justo debajo. Mientras la puerta mantiene su estado, apenas entra corriente en ella. En los circuitos CMOS de los chips, un transistor consume sobre todo al conmutar, y esa es una de las razones por las que caben miles de millones en un solo chip.

Cómo construirlo

Los transistores modernos salen de fábricas que necesitan silicio ultrapuro, salas blancas y máquinas que valen miles de millones. Lo que sigue es un repaso histórico de cómo se fabricaron los primeros, en el orden que seguiría un taller de reconstrucción: primero un detector de punta, luego un transistor de contacto puntual y solo después las uniones. No es una receta; quien quiera ver un transistor en acción debería usar uno comercial en un circuito de baja tensión.

Conseguir un cristal adecuado. Los dispositivos de contacto puntual necesitan un trozo de germanio de tipo n bastante puro. En los años cuarenta procedía de las investigaciones de guerra sobre detectores de radar. La galena (sulfuro de plomo), el cristal con «bigote de gato» de las primeras radios, solo da un diodo detector rudimentario.

Preparar la superficie. Se pule plana y luego se decapa, porque el comportamiento de los contactos depende de ella. Este paso emplea ácidos fuertes y corresponde a un laboratorio bien equipado.

Hacer los contactos. Dos puntas metálicas finas, o una lámina de oro cortada sobre una cuña de plástico como en 1947, deben tocar el cristal muy juntas. Un muelle las mantiene con una presión ligera y constante. La cara inferior del cristal se suelda a un bloque metálico que forma el tercer terminal.

Formar y probar. Los primeros fabricantes «formaban» el contacto del colector haciendo pasar por él breves impulsos de corriente, lo que mejoraba la ganancia, y después medían cada transistor. Muchos fallaban, y solo se

conservaban los que superaban las pruebas.

Pasar a las uniones. Los transistores de unión crecida necesitan cristales estirados desde un baño fundido con dopado controlado, lo que exige un horno con regulación fina de temperatura y atmósfera inerte. Los transistores de unión aleada, fabricados desde principios de los años cincuenta, se hacían de otra forma: se fundían pequeñas bolitas de indio sobre las dos caras de una fina oblea de germanio. Ambos son procesos industriales.

> **Seguridad.** Los ácidos de decapado queman la piel y los ojos; el ácido fluorhídrico, que se usa para decapar el silicio, puede envenenar el organismo a través de la piel, con síntomas retardados, incluso por una pequeña salpicadura, y debe dejarse en manos de especialistas. No hay que respirar el polvo de germanio ni de silicio. El soldador quema, y el estaño de soldar antiguo contiene plomo. Pruebe los circuitos a baja tensión; la corriente de la red puede matar.

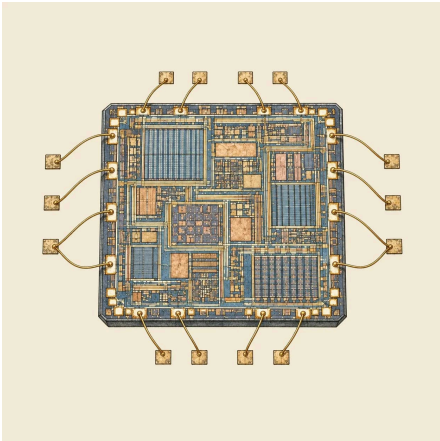
Historia y evolución

La Regency TR-1 de 1954 solo necesitaba cuatro transistores.

Desde los años veinte, los ingenieros buscaban un sustituto sólido de la válvula de vacío. Julius Lilienfeld solicitó en 1925 una patente para un dispositivo de efecto de campo, pero no consta ningún prototipo que funcionara. Tras la Segunda Guerra Mundial, los Bell Labs crearon un grupo de física del estado sólido dirigido por William Shockley para encontrar un amplificador para la red telefónica. El diseño de efecto de campo de Shockley no funcionó. John Bardeen atribuyó el fallo a electrones atrapados en la superficie del cristal, y él y Walter Brattain probaron entonces a hacer pasar la corriente por contactos puntuales.

El 16 de diciembre de 1947 su montaje amplificó una señal. Una semana después se lo mostraron a la dirección de los Bell Labs. La empresa anunció el invento en Nueva York el 30 de junio de 1948, y el ingeniero John Pierce acuñó el nombre de «transistor». Ese mismo año, en París, Herbert Mataré y Heinrich Welker construyeron por su cuenta un dispositivo parecido, al que llamaron «transistrón».

Los transistores de contacto puntual eran frágiles. En enero de 1948 Shockley concibió el transistor de unión, que los Bell Labs pudieron producir a partir de 1951. La radio de bolsillo Regency TR-1, de 1954, usaba cuatro transistores de germanio de Texas Instruments y vendió más de 100.000 unidades. Después, el silicio, que soporta mejor el calor, sustituyó al germanio.



Un circuito integrado reúne muchos transistores y sus conexiones en una sola pieza de silicio.

En 1958 Jack Kilby, en Texas Instruments, construyó el primer circuito integrado sobre una pequeña barra de germanio. Mohamed Atalla y Dawon Kahng presentaron el transistor MOS en los Bell Labs en 1960. Bardeen, Brattain y Shockley compartieron el Premio Nobel de Física de 1956. Desde entonces los transistores no han dejado de encogerse, y el transistor MOS es hoy el objeto fabricado en mayor número de la historia.

Cifras clave

Primer dispositivo que funcionó
16 de diciembre de 1947, Bell Labs, Nueva Jersey

Presentación pública
30 de junio de 1948, Nueva York

Transistores fabricados hasta hoy
Unos 13×10^{21}, el 99,9 % de ellos MOS (estimación del analista Jim Handy)

Solicitud de patente de Bardeen y Brattain
17 de junio de 1948 (US 2,524,035)

Premio Nobel de Física
1956, Bardeen, Brattain y Shockley

Fuentes

1. 1947: Invention of the point-contact transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/invention-of-the-point-contact-transistor/
2. 1948: Conception of the junction transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/conception-of-the-junction-transistor/
3. Milestones: First semiconductor integrated circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
4. 13 sextillion and counting: the long and winding road to the most frequently manufactured human artifact in history · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/13-sextillion-counting-the-long-winding-road-to-the-most-frequently-manufactured-human-artifact-in-history/
5. Regency TR-1 · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Regency_TR-1
6. Transistor · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor
7. The Transistor, A Semi-Conductor Triode (Bardeen and Brattain, Physical Review 74, 230) · American Physical Society https://doi.org/10.1103/PhysRev.74.230
8. Some Circuit Aspects of the Transistor (Ryder and Kircher, Bell System Technical Journal 28, 367) · Bell Telephone Laboratories https://archive.org/details/bstj28-3-367
9. The Surface State Job · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/the-surface-state-job/

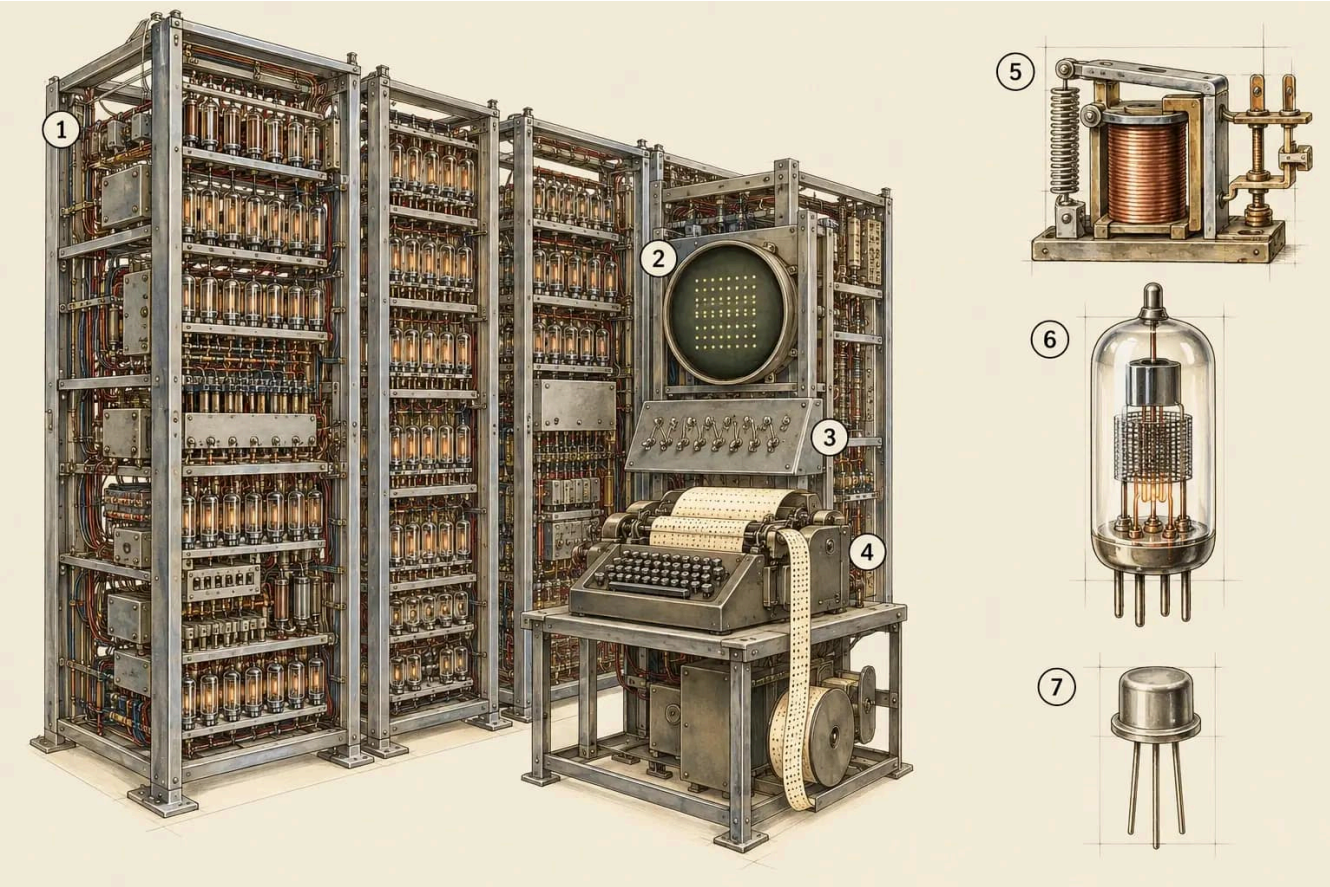
Datos verificados el 2026-10-11

Ordenador

Una máquina con el programa en memoria

1948 · Época moderna · Era eléctrica

Requiere: Transistor (p. 361), Numeración posicional (p. 97)



1 Bastidores de válvulas de vacío 2 Tubo de memoria catódico: un punto por bit 3 Panel de interruptores para introducir datos 4 Teleimpresor y cinta perforada 5 Relé: un interruptor movido por un electroimán 6 Válvula de vacío: su rejilla gobierna la corriente 7 Transistor: el interruptor de semiconductor

Un ordenador es una máquina de calcular programable; el modelo actual guarda su programa en su propia memoria y calcula en binario, con interruptores que solo están encendidos o apagados. El primero que ejecutó un programa desde una memoria electrónica fue el «Baby» de Mánchester, el 21 de junio de 1948, y móviles y portátiles siguen todavía su esquema.

Qué es

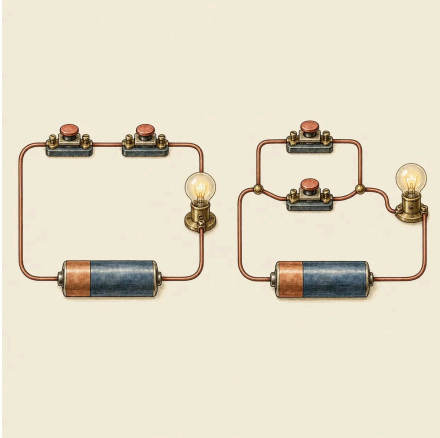
Un ordenador ejecuta un programa, una lista de instrucciones, sobre unos datos. En el diseño de programa almacenado que se describe aquí, el programa está en la misma memoria que los números con los que trabaja, así que la máquina puede cargar uno nuevo, cambiarlo o escribir otro sin que haya que reconstruirla. Esa idea distingue el ordenador de programa almacenado de las máquinas programables anteriores, que tomaban sus instrucciones de cintas, tarjetas, clavijas o interruptores.

Los ordenadores actuales trabajan en binario, solo con las cifras 0 y 1, porque dos estados son fáciles de hacer fiables: un interruptor está abierto o cerrado. El ENIAC y algunas otras máquinas antiguas aún contaban en decimal. Para una sociedad que reconstruye sus herramientas, calcula, controla máquinas como bombas y redes eléctricas y transmite mensajes.

Cómo funciona

Los números binarios. El binario es un sistema posicional como nuestras cifras decimales, pero cada posición vale el doble que la de su derecha: 1, 2, 4, 8, 16. Trece es 8 + 4 + 1 y se escribe 1101. Ocho cifras binarias, o bits, bastan para todos los enteros de 0 a 255.

Las puertas lógicas. Dos interruptores en serie solo encienden una lámpara si ambos están cerrados: es una puerta Y. En paralelo basta cualquiera de ellos: una puerta O. Un relé cuyo contacto se abre cuando su bobina recibe corriente forma una puerta NO, que convierte el 1 en 0. Al relé lo mueve un electroimán; a la válvula de vacío, la tensión de su rejilla; al transistor, la señal de su base o de su puerta. Con Y, O y NO se puede expresar cualquier regla que lleve de unos bits de entrada a unos bits de salida.



En serie, la bombilla solo se enciende si se pulsan los dos; en paralelo, basta con uno.

Sumar con puertas. En binario, 1 + 1 da 10: suma 0 y acarreo 1. El bit de suma vale 1 cuando exactamente una entrada vale 1, una regla llamada O exclusiva (XOR); el acarreo solo vale 1 si las dos valen 1, que es una Y. Juntas forman un semisumador. Un sumador completo recibe además el acarreo de la columna de la derecha, y ocho en cadena suman dos números de 8 bits, columna a columna, como un escolar en su cuaderno.

La memoria. Dos puertas NO-O (una O seguida de una NO), en las que cada salida alimenta una entrada de la otra, forman un biestable: un impulso en una de las entradas libres lo pone a 1, un impulso en la otra lo devuelve a 0, y guarda ese bit mientras haya corriente. Mánchester guardaba los bits como puntos cargados en un tubo catódico, y el EDSAC como pulsos de sonido en tubos de mercurio. Cada palabra, un grupo de bits, lleva un número, su dirección.

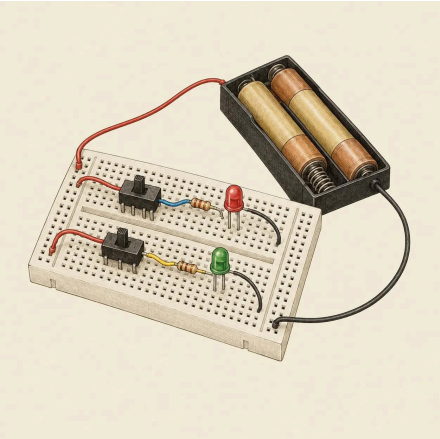
El ciclo. Un registro, el contador de programa, contiene la dirección de la instrucción siguiente. El procesador la busca, la descodifica, la ejecuta y vuelve a empezar. Una instrucción puede sumar un número de la memoria al acumulador, guardar un resultado o saltar a otro sitio si un valor es negativo; ese salto condicional permite al programa repetir y elegir. Teclados y sensores meten los datos; pantallas, impresoras y motores sacan los resultados.

Cómo construirlo

Un procesador moderno exige una fábrica de chips, pero su lógica se aprende sobre una mesa.

Reunir el material. Una placa de prototipos sin soldadura, dos o tres pilas AA en un portapilas (de 3 a 4,5 V) o una fuente USB de 5 V, dos conmutadores de dos polos, dos LED, dos resistencias de 330 a 470 ohmios y cable. Cada LED se monta con la pata larga (ánodo) hacia el conmutador y la corta (cátodo) a 0 V. Escriba primero la tabla de verdad: para las entradas A B = 00, 01, 10, 11, la suma es 0, 1, 1, 0 y el acarreo 0, 0, 0, 1.

Cablear el acarreo. Lleve la alimentación al común del primer polo de A, su contacto «encendido» al común del primer polo de B, y ese contacto «encendido» a un LED a través de una resistencia; la otra pata del LED vuelve a 0 V.



Pruebe primero cada interruptor con su LED; un LED necesita siempre una resistencia en serie.

Solo se enciende con 11: es la Y.

Cablear la suma. En los segundos polos, una el contacto «encendido» de A con el contacto «apagado» de B, y el «apagado» de A con el «encendido» de B. Alimente el común de A y lleve el común de B al segundo LED a través de una resistencia, con el cátodo a 0 V. Se enciende cuando los conmutadores están en posiciones distintas: es el XOR. Compruebe los cuatro casos con la tabla.

Encadenar un sumador mayor. Un sumador completo son dos semisumadores y una puerta O que reúne sus acarreos. A partir de aquí resultan más cómodos los circuitos lógicos: un sumador de 4 bits necesita dos 74HC86 (XOR), dos 74HC08 (Y) y un 74HC32 (O). Aliméntelos como indica la hoja de datos (patilla 14 al positivo, patilla 7 a 0 V y un condensador de 100 nF entre ambas). Cada acarreo de salida entra en la columna siguiente y el primer acarreo de entrada va a 0 V; cada entrada de conmutador lleva una resistencia de 10 kilohmios a 0 V, y cada LED de salida una de 1 kilohmio.

Hacer funcionar un ordenador en papel. Dibuje ocho casillas de memoria numeradas, un acumulador y un contador de programa a 0. Escriba CARGA 5 en la casilla 0, SUMA 6 en la 1, GUARDA 7 en la 2, ALTO en la 3, y luego 3 en la casilla 5 y 4 en la 6. Haga de procesador: lea la casilla que señala el contador, ejecútela y súmele uno al contador. La casilla 7 acaba conteniendo 7. Codifique ahora cada instrucción con dos cifras, primero la operación y luego la dirección, con CARGA 1, SUMA 2, GUARDA 3 y ALTO 0: el programa se convierte en 15, 26, 37, 00, números entre los datos.

> **Seguridad.** Solo pilas o una fuente USB de 5 V, nunca la red eléctrica. Cada LED necesita su resistencia. Una pila o una batería externa en cortocircuito puede calentar sus cables hasta quemar. Desconecte la alimentación antes de recablear. La salida de un chip no puede alimentar la bobina de un relé: gobiérnela con un transistor adecuado a su corriente y ponga un diodo en paralelo con ella, con el extremo marcado con una franja (el cátodo) hacia el positivo, para absorber el pico de tensión al desconectarla.

Historia y evolución

La máquina analítica de Charles Babbage, concebida en 1834, tenía un almacén, un molino para el cálculo y un programa en tarjetas perforadas; nunca llegó a construirse. Ada Lovelace publicó en 1843 una secuencia de operaciones para ella. Las tabuladoras eléctricas de tarjetas de Herman Hollerith contaron el censo de Estados Unidos de 1890.

Boceto simplificado de la parte de su primera máquina diferencial, una séptima, que Babbage hizo montar en 1832; todavía funciona.

En 1936 Alan Turing describió una máquina universal que lee sus instrucciones en la misma cinta que sus datos. Konrad Zuse presentó en Berlín su Z3 de relés el 12 de mayo de 1941. Desde febrero de 1944, el Colossus electrónico de Tommy Flowers ayudó a romper el cifrado alemán Lorenz en Bletchley Park; siguió siendo secreto hasta los años setenta. El ENIAC de J. Presper Eckert y John Mauchly, en Filadelfia, presentado en 1946, era de uso general, pero se programaba

cambiando cables de sitio. Cada uno puede reclamar el primer puesto, según se exija electrónica, uso general o programa almacenado.

El informe de John von Neumann sobre el EDVAC, de 1945, fruto del trabajo con Eckert, Mauchly y otros, describía una máquina que guardaba programa y datos en una sola memoria. La primera en funcionar fue el «Baby» de Mánchester, de Frederic Williams, Tom Kilburn y Geoff Tootill, el 21 de junio de 1948. El EDSAC de Maurice Wilkes, en Cambridge, lo siguió el 6 de mayo de 1949 y pronto dio servicio a sus usuarios.

Mánchester hizo funcionar un ordenador de transistores en noviembre de 1953. Los circuitos integrados, fabricados por primera vez en 1958, entraron en los ordenadores en los años sesenta y, en 1971, el 4004 de Intel puso un procesador entero en un solo chip.

Cifras clave

Zuse Z3, de relés, programa en película perforada
Presentado en Berlín el 12 de mayo de 1941

Colossus, electrónico, configurado con clavijas e interruptores
En servicio en Bletchley Park desde febrero de 1944; unas 1600 válvulas, de 2400 a 2500 en los modelos posteriores

ENIAC
Presentado en febrero de 1946; unas 18 000 válvulas de vacío, 30 toneladas cortas estadounidenses (unas 27 t), 150 kW

Primer programa almacenado ejecutado
21 de junio de 1948, Mánchester: 17 instrucciones, memoria de 32 palabras de 32 bits

Intel 4004, primer microprocesador comercial
1971, unos 2300 transistores en un chip

Fuentes

1. Timeline of Computer History: Computers · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/timeline/computers/
2. The Modern History of Computing (B. Jack Copeland) · Stanford Encyclopedia of Philosophy https://plato.stanford.edu/entries/computing-history/
3. Mark 1 Story: The Baby · University of Manchester, Department of Computer Science https://www.curation.cs.manchester.ac.uk/computer50/www.computer50.org/mark1/new.baby.html
4. Milestones: Manchester University "Baby" Computer and its Derivatives, 1948–1951 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Manchester_University_%22Baby%22_Computer_and_its_Derivatives,_1948-1951
5. Colossus · The National Museum of Computing https://www.tnmoc.org/colossus
6. ENIAC · Penn Engineering, University of Pennsylvania https://www.engineering.upenn.edu/about/history-heritage/eniac/
7. A brief informal history of the Computer Laboratory · University of Cambridge Computer Laboratory https://www.cl.cam.ac.uk/events/EDSAC99/history.html
8. The Engines · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/engines/
9. Ada Lovelace · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/adalovelace/
10. Tabulation and Processing · U.S. Census Bureau https://www.census.gov/about/history/bureau-history/census-innovations/technology/tabulation-and-processing.html
11. Milestones: First Semiconductor Integrated Circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
12. 1971: Microprocessor integrates CPU function onto a single chip · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/microprocessor-integrates-cpu-function-onto-a-single-chip/
13. 74HC86; 74HCT86 Quad 2-input EXCLUSIVE-OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT86.pdf
14. 74HC08; 74HCT08 Quad 2-input AND gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT08.pdf
15. 74HC32; 74HCT32 Quad 2-input OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT32.pdf
16. SN74HC86 Quadruple 2-Input Exclusive-OR Gates (data sheet) · Texas Instruments https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc86.pdf
17. Full Adder · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Electronic/fulladd.html
18. Binary Adder and Binary Addition · Electronics Tutorials https://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb_7.html

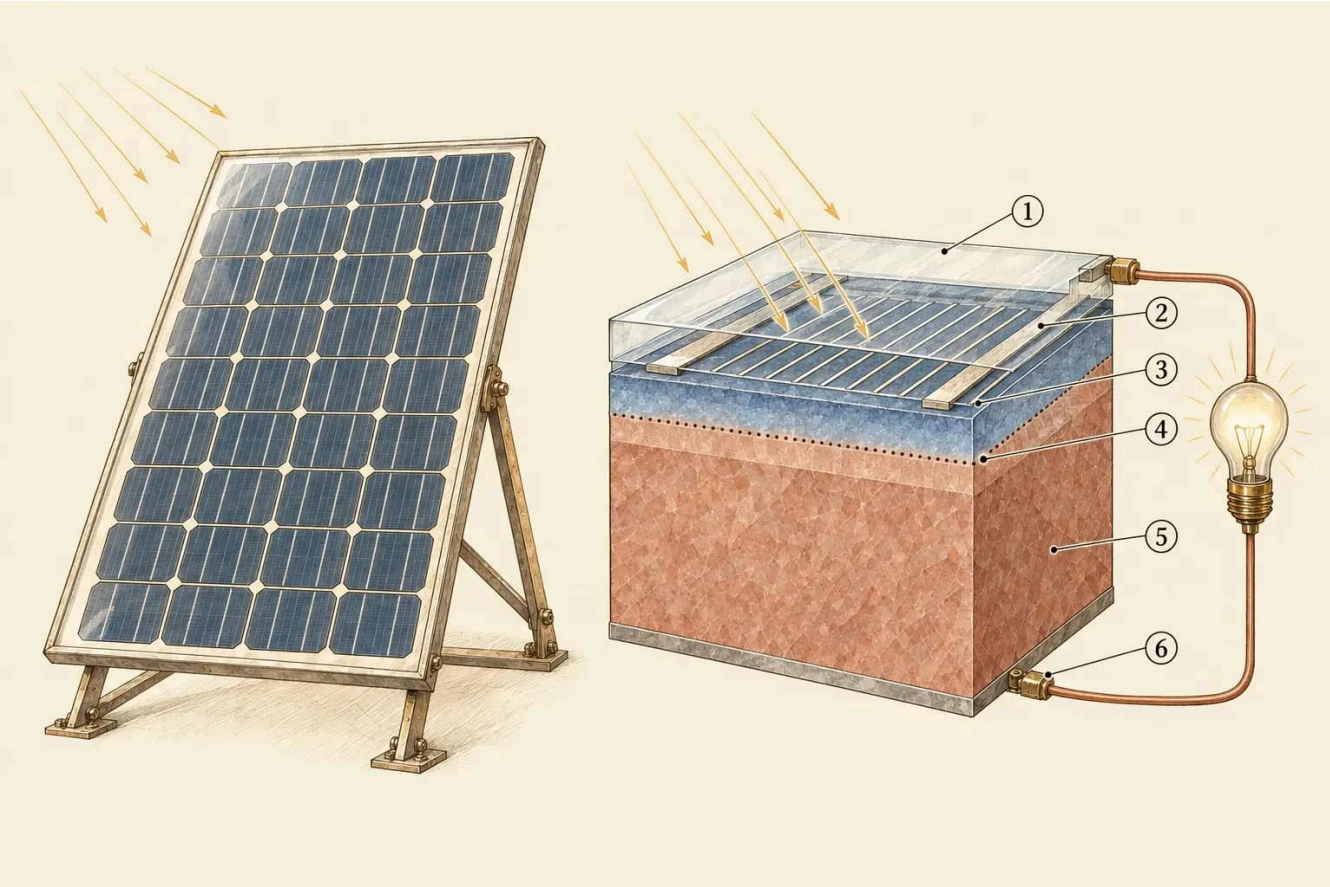
Datos verificados el 2026-10-14

Célula solar

La luz del sol hecha corriente

1954 · Época moderna · Era eléctrica

Requiere: Transistor (p. 361), Pila eléctrica (p. 239), Vidrio (p. 132)



1 Cubierta de vidrio 2 Rejilla de contacto frontal 3 Capa fina de tipo n (fósforo) 4 Unión p-n 5 Base de tipo p (boro) 6 Contacto trasero

Una célula solar es una lámina fina de semiconductor en la que la luz libera electrones que un campo eléctrico interno empuja hacia los contactos en forma de corriente, sin piezas móviles ni combustible. Los Bell Labs presentaron la primera célula de silicio útil en 1954, y la energía solar aportó el 8,7 % de la electricidad mundial en 2025.

Qué es

Una célula solar convierte la luz directamente en corriente eléctrica, sin piezas móviles ni combustible. Casi todas son láminas cuadradas de silicio algo más anchas que una mano. Cada una da alrededor de medio voltio al sol, así que se conectan decenas de ellas bajo un vidrio para formar un panel, como el de 36 células de la lámina.

La fecha elegida es abril de 1954, cuando los Bell Labs presentaron una célula de silicio que convertía cerca del 6 % de la luz solar en electricidad, lo suficiente para hacer funcionar aparatos reales. Becquerel ya había visto la luz producir corriente en 1839, pero las células de selenio fabricadas desde 1883 no pasaban del 1 %.

Cómo funciona

El silicio puro conduce mal. El dopado con una traza de fósforo le aporta electrones de sobra (tipo n); una traza de boro deja huecos que se comportan como cargas positivas (tipo p). Una célula clásica es una oblea dopada con boro cuya cara frontal se impregna de fósforo hasta menos de una milésima de milímetro de profundidad. Donde se tocan las dos zonas, electrones y huecos se anulan en una franja estrecha. Allí quedan cargas fijas que mantienen un campo eléctrico permanente a través de esta unión p-n.

Las células se cortan de un monocristal de silicio que se hace crecer a partir del material fundido; hoy una oblea mide unos 0,14 mm de grosor.

Un fotón con energía suficiente arranca un electrón de su enlace en el cristal y deja un hueco en su lugar. Cerca de la unión, el campo empuja el electrón hacia el lado n y el hueco hacia el lado p. Los electrones se reúnen en los dedos frontales, recorren el circuito exterior, donde encienden una lámpara o cargan una batería, y vuelven por el contacto trasero.

En vacío, una célula marca unos 0,6 a 0,7 V, y unos 0,5 V cuando entrega energía. La tensión apenas cambia con la luz, pero la corriente la sigue: con la mitad de luz, más o menos la mitad de corriente. En serie se suman las tensiones; 36 células trabajan así a unos 17 V, bastante para cargar una batería de 12 V. En paralelo se suman las corrientes. Una sola célula a la sombra frena toda su cadena, y por eso los paneles llevan diodos de derivación.

El silicio deja pasar sin aprovecharla la luz infrarroja de más de 1,1 micrómetros, y los fotones con energía de sobra pierden el exceso en forma de calor. En 1961 William Shockley y Hans-Joachim Queisser demostraron que estas pérdidas limitan una célula de una sola unión a cerca de un tercio de la luz solar. El silicio sufre además pérdidas propias del cristal, que bajan su límite a cerca del 29 %; la mejor célula de laboratorio alcanzaba el 28,1 % en 2026. El calor también reduce la producción: una célula de silicio convencional pierde entre un 0,4 y un 0,5 % de su potencia por grado Celsius, sobre todo porque baja la tensión.

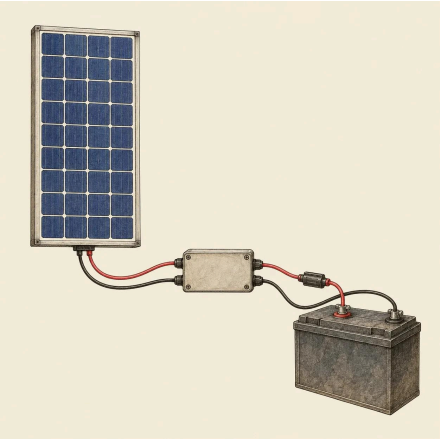
Cómo hacerlo

Fabricar células es trabajo de fábrica. Una pequeña instalación de 12 V con paneles comprados, piezas compatibles y las instrucciones de cada fabricante está en cambio al alcance de un aficionado cuidadoso.

Dimensionar el panel. Cuatro lámparas LED de 5 W durante 4 horas y una radio de 10 W durante 2 horas consumen 100 vatios hora (Wh) al día. Un panel da más o menos su potencia nominal × las horas de sol pico (la energía solar del día contada en horas de pleno sol, en el mes más oscuro) × 0,7 por calor, polvo y cables. Un panel de 100 W con 3 horas de sol pico da unos 210 Wh: margen de sobra.

Elegir la batería. Cuente con uno a tres días nublados. Una batería de plomo dura más si rara vez se descarga por debajo de la mitad. Una de litio-ferrofosfato admite usar casi toda su capacidad, pero solo con su propia electrónica de gestión y un regulador ajustado para litio; la mayoría no debe cargarse por debajo de 0 °C. Dos días de 100 Wh sacados de una batería de plomo de 12 V usada hasta la mitad piden al menos 33 Ah: elija 40 Ah.

Poner un regulador de carga. No conecte nunca un panel directamente a una batería. El regulador dosifica la carga para que la batería nunca se sobrecargue y luego la mantiene llena, y los aparatos conectados a su salida de consumo se desconectan antes de que se vacíe. Un regulador PWM sencillo debe admitir al menos 1,25 veces la corriente de cortocircuito del panel. En un modelo MPPT, compare sus límites de tensión, corriente y potencia con la ficha técnica del panel, sabiendo que la tensión en vacío sube con el frío.



Panel, regulador y batería, con el fusible en el cable positivo junto a la batería.

Fusible y cables. Ponga en el cable positivo, pegado a la batería, un fusible apto para corriente continua. Su calibre debe ser menor que lo que aguanta el cable y mayor que la corriente normal más alta, y tiene que poder cortar la enorme corriente que da una batería en cortocircuito. Con 10 A, un panel a 5 m (10 m de cobre) pierde unos 0,3 V en un cable de exterior de 6 mm^2; un hilo más fino pierde más.

Montar y limpiar. Oriente el panel hacia el ecuador, sin sombra en las horas centrales del día, inclinado más o menos como la latitud del lugar para un uso todo el año. Aclare el polvo con agua y un cepillo suave. Un inversor puede convertir los 12 V en tensión de red, tan peligrosa como la propia red.

Medir una célula. Al sol, lea la tensión de una célula pequeña en la posición de voltios de continua de un multímetro. Después pase a amperios de continua, lleve el cable rojo a la toma de 10 A y toque los bornes de la célula: así lee su corriente de cortocircuito. Compruebe antes que la corriente indicada en la célula queda muy por debajo del límite de 10 A del multímetro, y mantenga las puntas solo unos segundos. A la sombra, la tensión casi no cambia y la corriente cae. Devuelva luego el cable rojo a la toma de voltios y no mida nunca así la corriente de una batería.

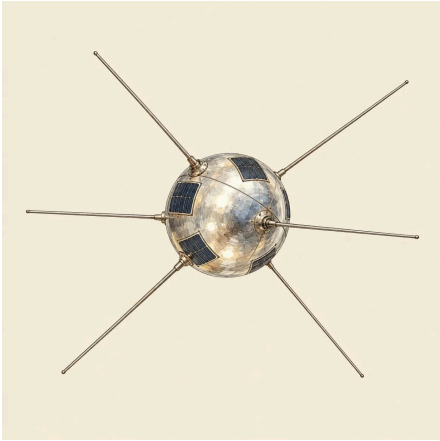
> **Seguridad.** Un panel da tensión en cuanto le llega la luz: cúbralo mientras lo cablea. La corriente continua puede mantener un arco si se desconecta un conector en carga; para trabajar en la instalación, cubra el panel, desconecte primero el panel y la batería al final, y vuelva a conectar en orden inverso. Un cortocircuito en los bornes de una batería funde herramientas y provoca incendios, y el fusible no evita el de una llave apoyada sobre los dos bornes: herramientas aisladas y tapas de bornes. Las baterías de plomo desprenden hidrógeno al cargarse: ventile, nada de chispas, gafas de protección. En un tejado, arnés y punto de anclaje, o recurra a profesionales. Todo lo conectado a la red, inversores incluidos, es trabajo de un electricista cualificado.

Historia y evolución

En 1839 Edmond Becquerel, con 19 años, iluminó electrodos recubiertos de cloruro de plata sumergidos en un ácido y midió una corriente débil. En 1873 el ingeniero inglés Willoughby Smith, mientras probaba cables telegráficos submarinos, notó que el selenio conduce mejor con luz; en 1883 el estadounidense Charles Fritts fabricó células de selenio bajo una lámina de oro tan fina que dejaba pasar la luz. En 1905 Albert Einstein explicó que la luz llega en paquetes cuya energía depende de su color.

En 1940 Russell Ohl, en los Bell Labs, vio que una muestra de silicio con fósforo en un lado y boro en el otro daba corriente con la luz: la primera unión p-n, con un rendimiento de alrededor del 1 %. En 1953 su colega Daryl Chapin buscaba alimentar equipos telefónicos aislados y solo obtenía un 0,5 % con selenio. El silicio dopado de Calvin Fuller y Gerald Pearson funcionaba mucho mejor, y la célula presentada el 25 de abril de 1954 movió una noria de juguete.

Las primeras células de silicio eran demasiado caras para el uso corriente, y su primer cliente fijo fue el espacio. El Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958, llevaba seis pequeños paneles de 18 células cada uno: su emisor de pilas calló en junio de 1958 y el solar siguió emitiendo hasta mayo de 1964. Al crecer las fábricas, el precio de los módulos bajó de unos 132 dólares por vatio en 1975 a 0,27 dólares en 2024 (en dólares de 2025). Hoy la mayoría de las células parten de obleas dopadas con fósforo, con el boro en la cara frontal. En 2025 los paneles solares produjeron el 8,7 % de la electricidad mundial, según Ember (abril de 2026).



Vanguard 1, 1958: seis pequeños paneles de células solares sobre una esfera de unos 16 cm de diámetro.

Cifras clave

Primera célula útil

Presentada por los Bell Labs el 25 de abril de 1954, con un rendimiento de alrededor del 6 %

Rendimiento actual

28,1 % la mejor célula de silicio de laboratorio; algo menos del 25 % los mejores módulos comerciales (Fraunhofer ISE, julio de 2026)

Parte de la electricidad mundial

8,7 % en 2025, frente al 1,1 % en 2015 (Ember, abril de 2026)

Tensión de una célula de silicio

Unos 0,6–0,7 V en vacío, unos 0,5 V en funcionamiento

Efecto del calor

Entre un 0,4 y un 0,5 % menos de potencia por °C en una célula de silicio convencional; la ficha técnica de cada panel da su valor

Fuentes

1. April 25, 1954: Bell Labs demonstrates the first practical silicon solar cell · American Physical Society, APS News https://aps.org/apsnews/2009/04/bell-labs-silicon-solar-cell
2. Milestones: First practical photovoltaic solar cell · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Practical_Photovoltaic_Solar_Cell
3. 1940: Discovery of the p-n junction · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/discovery-of-the-p-n-junction/
4. First photovoltaic devices · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://pveducation.org/es/fotovoltaica/first-photovoltaic-devices
5. Open-circuit voltage · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage
6. Effect of light intensity · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-light-intensity
7. Effect of temperature · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature
8. Limiting efficiency of crystalline silicon solar cells due to Coulomb-enhanced Auger recombination (Kerr, Cuevas, Campbell, 2003) · Australian National University https://researchportalplus.anu.edu.au/en/publications/limiting-efficiency-of-crystalline-silicon-solar-cells-due-to-cou/
9. Einstein and the photoelectric effect · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2005/01/einstein-photoelectric-effect
10. Vanguard 1 · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/vanguard-1/
11. Vanguard 1 celebrates 50 years in Earth's orbit (Spaceport News, 21 March 2008, p. 7) · NASA Kennedy Space Center https://www3.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/218158main_mar21color.pdf
12. Solar cell array design handbook, vol. 1 (JPL SP 43-38, 1976) · NASA / Jet Propulsion Laboratory https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19770007250/downloads/19770007250.pdf
13. Photovoltaics Report (14 July 2026) · Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE https://ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html
14. Solar PV module prices, 1975–2024 · Our World in Data https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices
15. Global Electricity Review 2026: electricity demand and supply trends · Ember https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2026/electricity-demand-and-supply-trends/
16. Solar electric system design, operation and installation (C. Roos, 2009) · Washington State University Extension Energy Program https://digitalarchives.wa.gov/do/046161B1997D0FFD8FA86C78CAFFAB5C.pdf
17. SmartSolar MPPT 100/30 and 100/50 manual: operation · Victron Energy https://www.victronenergy.com/media/pg/Manual_SmartSolar_MPPT_100-30__100-50/en/operation.html
18. Series resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/series-resistance
19. Shunt resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/shunt-resistance
20. Single diode equivalent circuit models · Sandia National Laboratories, PV Performance Modeling Collaborative https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/single-diode-equivalent-circuit-models/
21. Production of upgraded metallurgical grade (UMG) silicon for a low-cost high-efficiency and reliable PV technology (Míguez Novoa et al., Frontiers in Photonics, 2024) · arXiv https://arxiv.org/abs/2604.04095

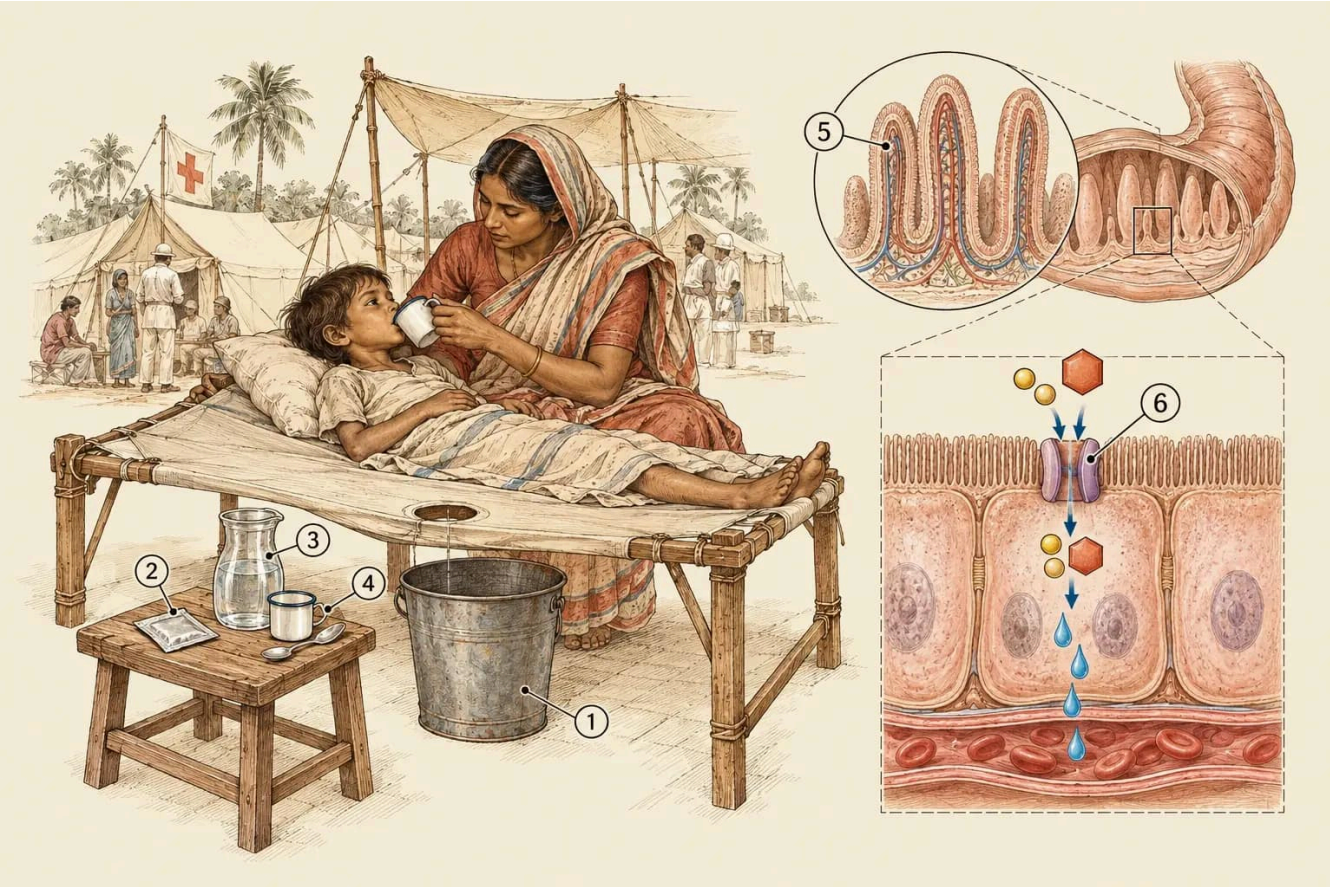
Datos verificados el 2026-10-14

Rehidratación oral

Sal, azúcar y agua contra el cólera

1968 · Época moderna · Era eléctrica

Requiere: Agua potable (p. 35), Medidas y patrones (p. 127)



1 Catre para el cólera con su cubo 2 Sobre de sales de rehidratación oral 3 Jarra de agua potable 4 Taza y cuchara 5 Vellosidades del intestino delgado 6 Transportador de sodio y glucosa en una célula de la pared

La rehidratación oral repone el agua y las sales perdidas en la diarrea con una bebida de agua limpia, sales y glucosa en proporciones fijas, que el intestino sigue absorbiendo incluso durante el cólera. Probada en ensayos en Daca y Calcuta en 1968 y envasada en sobres estándar desde los años setenta, se le atribuye haber salvado la vida de decenas de millones de niños.

Qué es

La diarrea mata porque seca el cuerpo. En el cólera, una toxina hace que la pared del intestino delgado vierta agua y sales al tubo digestivo, y un adulto puede perder litros de heces líquidas en pocas horas. El volumen de sangre cae, los riñones fallan y, sin tratamiento, la muerte puede llegar el mismo día. En los niños, la mayoría de las diarreas son más leves, causadas por virus u otras bacterias, pero aún matan a cientos de miles de ellos cada año.

La rehidratación oral repone esas pérdidas por la boca. El enfermo bebe una solución de agua limpia, sal común, glucosa, potasio y citrato, preparada a partir de un sobre de sales de rehidratación oral (SRO). No detiene la diarrea; mantiene vivo al enfermo mientras el cuerpo vence la infección.

La lámina muestra un campamento de tratamiento del cólera en Bengala a principios de los años setenta. Un niño yace en un catre para el cólera, cuyo agujero y cubo permiten a las enfermeras medir cada pérdida, mientras su madre le da de beber con una taza. A la derecha, un corte de la pared intestinal muestra por qué funciona.

Cómo funciona

El intestino delgado está tapizado de vellosidades, diminutos pliegues en forma de dedo cubiertos por una sola capa de células. Cada una lleva en su membrana externa una proteína que hace entrar juntos el sodio y la glucosa: dos iones de sodio por cada molécula de glucosa. Robert Crane propuso este acoplamiento en Praga en 1960, y experimentos con intestino de conejo confirmaron en 1964 que el azúcar impulsa la absorción de sodio. El cloruro sigue al sodio, y el agua sigue a las sales y al azúcar disueltos.

La toxina del cólera provoca la secreción, pero deja funcionar este transportador. Una bebida con sodio y glucosa se absorbe, por tanto, aunque el intestino esté perdiendo líquido, y en cantidad suficiente compensa las pérdidas.

El agua sola no aporta sal, así que por sí misma no repone lo perdido, y en grandes cantidades diluye el sodio que queda en la sangre. Las bebidas dulces, como los refrescos o los zumos, tienen demasiado azúcar y muy poca sal. El azúcar sobrante se queda en el intestino y atrae agua hacia él, lo que empeora la diarrea. La fórmula de osmolaridad reducida, recomendada por la OMS a principios de los años 2000, contiene menos sodio y glucosa que la primera. En niños con diarreas distintas del cólera, redujo el volumen de las heces entre una quinta y una cuarta parte, según el estudio, y los sueros no previstos en cerca de un tercio.

Cómo se fabrica y se usa

Esta sección describe cómo los sistemas de salud suministran las SRO y enseñan a usarlas. No es una receta casera.

Sobres industriales. Las plantas farmacéuticas mezclan glucosa purificada, cloruro de sodio, cloruro de potasio y citrato trisódico según la fórmula de la OMS y sellan el polvo seco en una lámina impermeable a la humedad; cada sobre corresponde a un volumen de agua indicado. En 2024, solo UNICEF entregó 29,2 millones de sobres a 56 países, a menudo envasados con comprimidos de zinc, por mucho menos de un dólar por tratamiento.

Enseñar a las familias. En el centro de salud o en una visita a domicilio, un agente de salud muestra a los padres cómo disolver un sobre en el volumen exacto de agua potable impreso en él, hervida y enfriada si la fuente es dudosa. La solución se da a sorbos pequeños y frecuentes, con taza o cuchara, más despacio si el niño vomita, y lo que sobra al cabo de un día se tira. La lactancia y las comidas normales continúan. La OMS recomienda además, para los niños con diarrea, zinc durante 10 a 14 días, que acorta el episodio y reduce el riesgo de otro poco después.

Una agente de salud enseña a una madre a vaciar el sobre entero en el volumen de agua potable impreso en él.

Reconocer la deshidratación. Los sanitarios buscan inquietud, ojos hundidos y sed intensa, que indican cierta deshidratación. Un niño con al menos dos de los signos siguientes está gravemente deshidratado: letargo o inconsciencia, ojos hundidos, incapacidad para beber o beber mal, y piel pellizcada que vuelve muy despacio. Estos enfermos, y cualquier persona en shock, reciben primero suero intravenoso en un centro de salud y después siguen con SRO.

Cuándo buscar ayuda de inmediato. A los padres se les enseña a volver enseguida si el niño se adormece, no puede beber, vomita sin parar, tiene sangre en las heces, lleva muchas horas sin orinar o no mejora. Los bebés

Un pliegue de piel que tarda dos segundos o más en deshacerse es uno de los signos de deshidratación grave.

muy pequeños y los niños desnutridos necesitan desde el principio a un sanitario.

> **Seguridad.** Usa sobres de SRO ya preparados, disueltos exactamente en el volumen de agua potable que indica el envase. Demasiado polvo vuelve peligrosa la solución y demasiada agua la hace menos eficaz. Si no tienes un sobre a mano, sigue dando agua potable, caldo o leche materna, evita las bebidas muy dulces y busca atención médica. Las SRO no sustituyen la atención médica: la deshidratación puede matar a un niño pequeño en pocas horas, y quien muestre signos de alarma debe ser llevado sin demora a un centro de salud.

Historia y evolución

En 1832, en Leith, cerca de Edimburgo, Thomas Latta siguió una propuesta de William O'Shaughnessy e inyectó agua salada en las venas de moribundos. Algunos se recuperaron, pero Latta murió al año siguiente y el método quedó olvidado durante medio siglo.

En los años sesenta, el suero intravenoso, perfeccionado por el médico de la Marina estadounidense Robert Phillips, bajó la mortalidad del cólera por debajo del 1 %, pero requería líquido estéril, agujas y personal formado. En Daca, entonces en Pakistán Oriental, y en un centro de la Universidad Johns Hopkins en Calcuta, varios investigadores probaron la glucosa y la sal por vía oral. En 1968 Norbert Hirschhorn demostró que la glucosa reducía la pérdida neta de heces, y David Nalin y Richard Cash informaron de que los enfermos que tomaban la bebida necesitaban un 80 % menos de suero intravenoso. La lámina toma 1968 como fecha.

Las inyecciones de Latta exigían una jeringa, una vena y un médico junto a la cama.

Durante la guerra de 1971 estalló el cólera entre los refugiados de Pakistán Oriental cerca de Bongaon, en la India. Con el suero intravenoso escaso, el equipo de Dilip Mahalanabis lo reservó para los casos más graves y trató al resto por la boca. De 3703 enfermos ingresados en su centro murió el 3,6 %, cuando al inicio del brote el cólera había matado a cerca del 30 % de los afectados. El informe no se publicó hasta 1973.

La OMS y UNICEF acordaron una fórmula única en 1975, y en 1978 The Lancet llamó al hallazgo el avance médico potencialmente más importante del siglo. De 1980 a 1990, la organización bangladesí BRAC envió trabajadoras de puerta en puerta para enseñar a más de 12 millones de madres una bebida casera de sal y azúcar sin refinar. La OMS recomendó una fórmula de osmolaridad reducida a principios de los años 2000, y una declaración conjunta con UNICEF la promovió en 2004 junto con el zinc.

Las estimaciones de niños salvados van de más de 50 millones entre 1982 y 2007 a más de 70 millones hasta 2019, aunque el agua potable, el saneamiento y las vacunas también contribuyeron.

Cifras clave

Ensayo de Nalin y Cash
The Lancet, agosto de 1968: un 80 % menos de suero intravenoso

Fórmula de osmolaridad reducida de la OMS
245 mOsm/l, frente a 311 de la solución original

Niños salvados, 1982–2007
Más de 50 millones (estimación de Fontaine, Garner y Bhan)

Centro de tratamiento de Bongaon, 1971
Murió el 3,6 % de 3703 enfermos de cólera, frente a cerca del 30 % al inicio del brote

Muertes por diarrea en menores de cinco años
Unas 444.000 al año (OMS, 2024)

Fuentes

1. Diarrhoeal disease (fact sheet, 7 March 2024) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease
2. Cholera (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera
3. Clinical management of acute diarrhoea: WHO/UNICEF joint statement (2004) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO_FCH_CAH_04.7
4. Oral rehydration salts (ORS) and zinc · UNICEF Supply Division https://www.unicef.org/supply/oral-rehydration-salts-ors-and-zinc
5. Zinc and ORS (S. Singh, 2007) · Pediatric Oncall Journal, vol. 4 no. 1 https://www.pediatriconcall.com/pediatric-journal/view/fulltext-articles/165/J/0/0/251/0
6. Robert K. Crane: Na+-glucose cotransporter to cure? (K. L. Hamilton, 2013) · Frontiers in Physiology https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2013.00053/full
7. Oral rehydration therapy: a low-tech solution that has saved millions of lives · Our World in Data https://ourworldindata.org/oral-rehydration-therapy
8. Magic bullet: the history of oral rehydration therapy (J. N. Ruxin, 1994) · Medical History, vol. 38 no. 4 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1036912/
9. Leith in the time of cholera: the story of Thomas Latta (G. A. Venters) · Hektoen International https://hekint.org/2017/02/01/leith-in-the-time-of-cholera-the-story-of-thomas-latta/
10. Treatment of cholera: Robert Allan Phillips (1967 Clinical Medical Research Award) · Lasker Foundation https://laskerfoundation.org/winners/treatment-of-cholera/
11. A simple solution: the history of ORS in Bangladesh · The World (PRX) https://theworld.org/stories/2013/06/25/simple-solution-history-ors-bangladesh
12. Oral fluid therapy of cholera among Bangladesh refugees (Mahalanabis et al., 1973) · Johns Hopkins Medical Journal, vol. 132 no. 4 https://pure.johnshopkins.edu/en/publications/oral-fluid-therapy-of-cholera-among-bangladesh-refugees-5/
13. Treating cholera · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/cholera/treatment/

Datos verificados el 2026-10-14

Índice alfabético

Acero 140
Acueducto 145
Aerogenerador 339
Agua potable 35
Aluminio 335
Anestesia 293
Arado 61
Arco y bóveda 73
Arco y flechas 18
Avión 352
Batería de plomo-ácido 303
Bicicleta 252
Bomba de pistón 161
Bombilla incandescente 321
Bronce 123
Brújula 193
Cal y mortero de cal 31
Carbón vegetal 65
Caucho vulcanizado 289
Célula solar 370
Cemento Portland 256
Cerámica 23
Cerradura y llave 114
Cerveza 77
Collera 177
Conservas y pasteurización 247
Cuerda y cordaje 13
Curtido del cuero 101
Destilación 173
Dominio del fuego 9
Engranajes 153
Escritura 85
Fotografía 260
Gafas 196
Generador eléctrico 273
Globo aerostático 230
Grúa y polea 149
Herramientas de piedra 5
Higiene y antisepsia 298
Hormigón armado 308
Hormigón romano 165
Imprenta 204
Jabón 93
Ladrillos 40
Locomotora de vapor 243
Máquina de coser 269
Máquina de vapor 226
Medidas y patrones 127
Microscopio 213
Molino de viento 185
Motor de combustión interna 313
Motor eléctrico 277
Navegación astronómica 209
Numeración posicional 97
Ordenador 365
Pan 27
Papel 169
Penicilina 356
Pila eléctrica 239
Pólvora 181
Queso 57
Radio 344
Radiografía 348
Reducción del hierro 136
Refrigeración 281
Rehidratación oral 375
Reloj de sol 105
Reloj mecánico 200
Riego 52
Rotación de cultivos 109
Rueca 189
Rueda hidráulica 157
Rueda y eje 81
Salazón 48
Tejido en telar 44
Teléfono 317
Telégrafo eléctrico 285
Telescopio 217
Teñido 69
Termómetro y barómetro 221
Torno de alfarero 119
Transformador 330
Transistor 361
Turbina de vapor 325
Turbina hidráulica 264
Vacunación 234
Vela 89
Vidrio 132

Cómo se hace el códice

Cada lámina se redacta a partir de fuentes: museos, enciclopedias, trabajos académicos y referencias técnicas. Las fechas y las cifras se comprueban en al menos dos fuentes independientes, citadas al pie de cada lámina, y cada lámina se revisa antes de publicarse. Cuando las fuentes no coinciden, el texto lo indica.

Las ilustraciones de las láminas se producen con una herramienta de generación de imágenes y después se revisan a mano: cada mecanismo, cada número de piezas y cada unión se compara con las fuentes. Las figuras interactivas se dibujan en código a partir de un modelo de la máquina.

Las palabras técnicas se explican en el glosario.

Propiedad intelectual

Los textos, láminas y figuras de The Last Codex son obras originales de Etienne Debost, publicadas bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es). Puede copiarlos y compartirlos, incluso el sitio completo para leerlo sin conexión, siempre que cite The Last Codex y su dirección, no los modifique y no haga de ellos un uso comercial. Cualquier otro uso requiere autorización escrita. El diseño y el código del sitio quedan fuera de esta licencia: todos los derechos reservados.

Iconos: game-icons.net (CC BY 3.0) y Phosphor (MIT). Tipografías: EB Garamond, Source Sans 3 e IBM Plex Mono (SIL Open Font License).