



Introducción

Mi abuelo, el Henry Ford que hizo famoso el Modelo T y la producción en serie, era una persona que establecía una diferencia absoluta entre trabajar duro y hacer un trabajo duro. Él tenía gran fe en lo primero y muy poca en lo segundo.

Su infancia en una granja del siglo XIX le convenció que los hombres y los caballos hacían mucho trabajo duro que podía y debía ser realizado por medio de máquinas. Fue una convicción que dominó su vida, y esto le ha hecho llegar a las páginas de este libro de LIFE, que trata de las máquinas que el hombre ha diseñado para hacer su trabajo más fácil.

Desde el nacimiento de mi abuelo hace un siglo, las máquinas han transformado la vida cotidiana. Como él mismo expresó, *«hemos suprimido el trabajo pesado de las espaldas del hombre y lo hemos cargado sobre el ancho lomo de las máquinas»*. Pero las máquinas significan mucho más para nosotros que el hecho de aligerarnos de nuestra tarea diaria. El hecho verdaderamente significativo respecto a la máquina no es que permita al hombre hacer un trabajo en menos tiempo, sino que permita al hombre el producir el doble en un tiempo determinado.

Mi abuelo llegó a ocupar un puesto en la historia poniendo en ejecución este concepto. Demostró que el aumento de producción rebajaba el costo de las mercancías de forma que más gente pudiera adquirirlas. Fue una idea que revolucionó la Revolución Industrial.

Incluso en sus días, algunas personas estaban preocupadas porque las máquinas nos hacían más a nosotros que para nosotros. Pero mi abuelo nunca se preocupó por la posibilidad del exceso de mecanización. *«La máquina ha conseguido la igualdad presente entre los hombres. Los que critican la máquina están pasados de moda. En vez de menos maquinaria, habrá más.»*

El tiempo ha probado esta predicción. Hemos tenido más maquinaria y nos ha proporcionado constantemente una vida mejor y mayor descanso para poder gozar de ella. Naturalmente que los tiempos han cambiado. Una tecnología de *«salto de rana»* nos ha proporcionado instrumentos de complejidad y capacidad tales que de

nuevo vuelve a surgir la pregunta: ¿Esta vez, hemos ido por fin demasiado lejos con nuestras máquinas?

Personalmente, sigo de acuerdo con mi abuelo.

Junto con los beneficios que producen, las máquinas de hoy presentan problemas que hay que tener en cuenta. Es esencial que nos preocupemos de resolverlos. Pero a la larga, no podremos continuar prosperando, a menos que continuemos aumentando nuestra productividad, y sólo podemos aumentar nuestra productividad abarcando todos los avances tecnológicos.

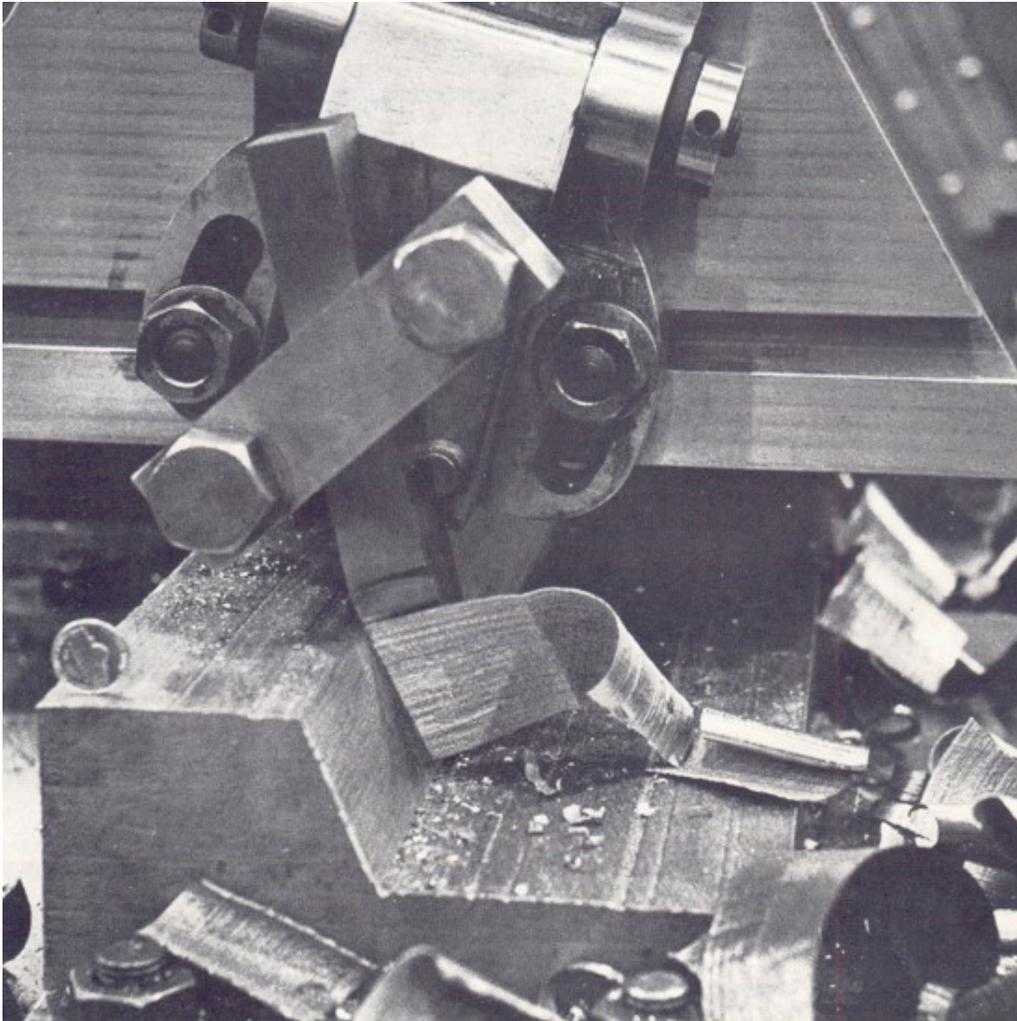
Este libro muestra cuán lejos ha llegado el hombre al utilizar los dones que Dios le ha concedido para mejorar sus condiciones de vida. Sólo es un atisbo de lo lejos que podremos llegar.

Henry Ford II

Capítulo 1

El Tejido Hecho a Máquina del Sueño Americano

Imaginad, en un momento de pesadilla, lo que ocurriría si por alguna vasta fantasía de automatización todas nuestras máquinas, sencillas y complejas, de fuerza muscular así como electrónica, se pusieran en huelga.



Una dualidad de fuerza y piezas. Toda máquina jamás inventada se quedaría en una masa silenciosa de piezas inútiles sin una fuente de energía, muscular o atómica. Las máquinas son cada día más disciplinadas, Una cepilladora movida por electricidad puede cepillar un lingote con una fuerza tal que la ausencia absoluta de vibración hace que una moneda se mantenga en pie.

Al momento, nuestras vidas empezarían a perder movimiento, torpe, trágica y cómicamente, hasta llegar a un paro inevitable. No podríamos saber la hora, lavarnos, afeitarnos, cocinar, abrir latas, encender luces, poner la calefacción, cortar el césped, telefonar, oír la radio, ver la televisión, ir a parte alguna o hacer cualquiera de las cosas que deseamos.

En toda la extensión del continente, silencioso y libre de los humos de fábrica, 83 millones de coches, camiones, autobuses y tractores quedarían parados. Ninguna de las cadenas de montaje funcionaría en Detroit, ni humo alguno coronaría San Luis. Cañaveral pertenecería de nuevo al mar, el sol, la arena y las gaviotas. El *Nautilus* estaría incomunicado bajo los mares. La SAC estaría en tierra firme.

Las máquinas han sido la parte básica de nuestra herencia. Cuando estaba todavía en estado primitivo, nuestra república era una comunidad de labradores-mecánicos. Hace un siglo que Ralph Waldo Emerson dijo que sus compatriotas habían aceptado el nuevo y emperifollado tren de vapor «*como si fuera la cuna en la que habían nacido*». Hoy en día cualquier jovenzuelo sabe desmantelar un coche viejo y volverlo a montar.

Las máquinas facilitan los medios a través de los cuales se hace factible la conversión de la materia en energía para ser utilizada por el hombre. Ponen a nuestro alcance la potencia del viento y de la caída de agua, la fuerza del vapor y del rayo. Hacen posible que la fuerza de 400 caballos quede encerrada bajo el capó de un coche, y aprisionar la furia destructora de 24 millones de toneladas de TNT en una sola bomba.

Un hombre no puede mover una roca sólo con las manos. Sin embargo, cuando mete un pie de cabra debajo, aproxima una piedra bajo éste para que sirva de punto de apoyo, entonces pinza hacia arriba y la roca se mueve. El pie de cabra y el fulcro forman una palanca, proporcionándole lo que los físicos llaman «*ventaja mecánica*», que permite a sus limitados recursos de fuerza superar la resistencia de la roca. Con sus manos un hombre puede quizás aplastar una lata de cerveza; sin embargo, tocando simplemente un botón, una prensa hidráulica reducirá una carrocería de acero de un automóvil de 500 kilos de peso a una apretada bala del tamaño de un pupitre de escuela. Con un brazo fuerte, un hombre puede lanzar una piedra a la distancia de 30 metros, pero apretando un botón puede hacer que una

máquina lance un cohete de 150 toneladas, con su contenido, a más de 6.500 millas de distancia sobre el Atlántico, dando en la diana de un blanco predeterminado. Una máquina electrónica consigue en pocos segundos hacer cálculos que él no podría realizar en varios años. Una máquina alada le lleva volando una cuarta parte del perímetro de la tierra en el tiempo que a él le llevaría caminar 20 kilómetros.

¿Entonces, qué es una máquina? Aunque ahora es parte inextricable de nuestras vidas, es muy difícil de definir. Cuando el profesor Franz Reuleaux, famoso ingeniero alemán, escribió su obra clásica *«Kinematics of Machinery»* en el año 1875, hizo una lista de quince definiciones hechas por profesionales en Francia, Alemania e Italia. No había dos iguales.

La palabra *«máquina»* deriva de la griega *mechane* y su asociada latina *machina*. Ambas quieren decir, poco concretamente, *«cualquier proyecto ingenioso o invención»*, lo que no nos saca de dudas. El diccionario *«Webster's New International»* dice que una máquina es *«cualquier ingenio consistente en dos o más partes, resistentes y relativamente obligadas, que, por cierto intermovimiento predeterminado, pueda servir para transmitir y modificar la fuerza y movimiento con objeto de producir un efecto dado o hacer alguna clase de trabajo deseado»*. Es una definición excelente, pero especializada, con una predisposición hacia el ingenio mecánico. Puede, sin duda alguna, ensancharse para que incluya todos los ingenios electrónicos y mecánicos que amplían los poderes humanos.

Un quinteto duradero

Aunque las máquinas se han multiplicado enormemente, todavía la lista más reciente tiene que dar principio con los cinco ingenios enumerados por el genio inventivo griego, Herón de Alejandría, alrededor de la era de Jesucristo: la palanca, la rueda y eje, la polea, la cuña y el tornillo.

Aunque no corresponden a la definición del diccionario de que una máquina debe tener «dos o más» partes, estas herramientas deben ser consideradas como «máquinas simples», extensiones separables del cuerpo humano que, principalmente, suplementan las funciones de los brazos. Variedades del quinteto elemental de Herón las encontramos en todas partes a nuestro alrededor. Una pala,

por ejemplo, es una palanca modificada. Un cortafrío es una cuña afilada. Una barrena es un tornillo.

Además de las herramientas, cualquier consideración sobre máquinas debe también comprender los «*propulsores primarios*»: mecanismos, u organismos, que convierten una forma natural de energía en otra forma capaz de producir movimiento. El cuerpo extrae energía química de los alimentos y la convierte en energía muscular que permite a los seres humanos hablar, caminar, manejar un palo de golf.

Una rueda hidráulica convierte la energía cinética del agua que fluye en una fuerza que hace girar un eje. Una máquina de vapor convierte la energía química del carbón en la energía térmica del vapor que hace mover un pistón. Un ingeniero mecánico puede decir que las máquinas como receptoras de fuerza de los «*propulsores primarios*» corresponden a una categoría separada. Técnicamente estaría en lo cierto. No obstante, escribir sobre máquinas y no hablar de los propulsores primarios sería tratar de cosas fútiles: de chasis de automóviles sin motores, como si dijéramos.

El descubrimiento de los propulsores primarios hechos por el hombre, tal como el de los molinos de viento, junto con su conquista del metal y su ingenio de la rueda, fueron los precursores del mundo mecanizado de hoy. Pero aun en época tan primitiva como los tiempos paleolíticos, había mostrado sus proclividades como «*el animal que hace herramientas*», según la frase célebre de Benjamín Franklin. Ideó cuchillos de cuarzo de agudo filo, instrumentos de madera para cavar, hachas manuales de cuarzo, pacientemente descantilladas y arpones provistos de afiladas puntas de hueso. Todos eran apéndices salvajes de sus propias manos, uñas y dientes: en términos mecánicos, *proto-máquinas* o máquinas primitivas, simples ingenios para aplicar su fuerza más efectivamente. Utilizaba postes como palancas para levantar las rocas. Descubrió que la cuerna de un ciervo, doblada y atirantada por una cuerda de tripa, descargaba su energía acumulada con violencia al soltar la cuerda, y que lanzaba una flecha a un blanco. Encontró que un palo al que se hacía girar entre las dos manos producía fuego más rápidamente que frotando dos palos uno contra otro.



Un potente implemento primitivo. Combinando la fuerza muscular y el «shaduf», una especie de palanca, los egipcios elevaban agua del Nilo para la irrigación de las tierras más altas que el nivel del río. Este dibujo de una tumba de hacia 1500 a.C. muestra a un labrador bajando un cubo en forma de cono, que cuelga de una viga equilibrado entre dos pilares. El contrapeso colocado al otro extremo de la viga permitía al labrador levantar el cubo lleno con menos esfuerzo.

Así fue como el hombre tropezó con las «máquinas simples» y empezó a percibir los poderes que le conferían. Descubrió que las palancas le proporcionaban ventajas mecánicas. En el arco dio con el primer ingenio que almacenaba energía. El palo de hacer fuego, el movimiento rotativo parcial.

El metal, la sustancia definitiva, brillante, forjable y duradera de las máquinas del porvenir, sucumbió a la voluntad del hombre después de que éste se convirtió de nómada en labrador en los valles de Mesopotamia alrededor del año 6.000 a.C. Desde hacía mucho tiempo venía utilizando el cobre puro, pero esto era una rareza en la naturaleza; debido a un feliz accidente, se dio cuenta de que ciertas piedras desprendían finas cuentas de este metal al someterlas al fuego de carbón de madera avivado por un tiro de aire a presión. Aprendió a trabajar este cobre fundido convirtiéndolo en hachas y cinceles que se podían afilar cuando se embotaban.

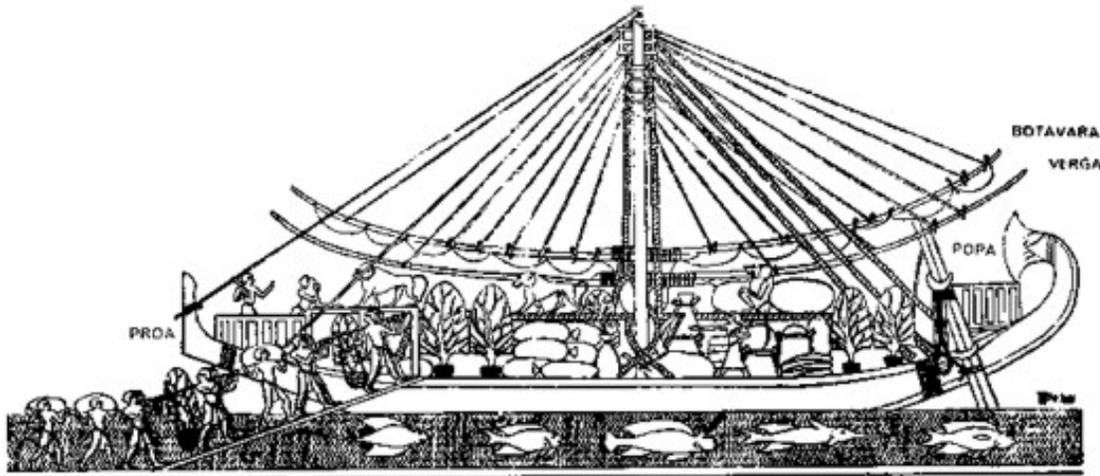
La rueda del alfarero

El adelanto que le sigue en importancia en la historia de la máquina fue la rueda y el eje. Este gran puntal de toda la tecnología se produjo en fecha anterior al año 3.000 a.C. Al aprender a moldear barro para hacer vasijas sobre una tabla de madera que pudiera hacer girar a medida que adelantaba su trabajo, el hombre aprendió a redondear la madera para agarrarla más fácilmente y elevarla sobre una base, un soporte, para poderla hacer girar libremente, como si fuera un cojinete. De esta manera llegó a producir la rueda del alfarero, prototipo de la rueda y eje, de la rueda de carro maciza, de la rueda con radios de los carros de guerra, de los muchos millones de ruedas del siglo xx que nos llevan y traen.

La primera energía explotada por el hombre, aparte de la de su propio cuerpo, fue la energía animal. El método habitual de elevar agua de un pozo o manantial, destinada al riego, era por medio de una rueda vertical que llevaba sujeta una cantidad de vasijas colocadas a un ángulo determinado en todo el perímetro de la rueda; las vasijas recogían el agua en la parte inferior del recorrido y la depositaban en una artesa o canal cuando la rueda las hacía pasar por la parte alta. La rueda estaba movida por un sinnúmero de individuos que pisaban los escalones que estaba provista la rueda.

Antes de la era cristiana, algún labrador del Cercano Oriente dotado de imaginación, llegó a cansarse de esta rutina. Quitó los escalones y colocó otra rueda vertical en el eje y la equipó en su circunferencia con unas estacas de madera a modo de dientes. Engranó esta rueda dentada a otra (dentada) de forma parecida, colocada horizontalmente, que hacía girar la vertical, cuyo eje hacía girar la rueda de las vasijas.

Este logro histórico vino aparejado con otro: el descubrimiento de la vela, el primer mecanismo para aprovechar la fuerza de la naturaleza, el primer propulsor primario no viviente. Unos ingeniosos barqueros egipcios que tenían que empujar sus esquifes de junco río arriba por el Nilo pueden haber sido los primeros que levantaran una pieza de tela y dejaran de remar mientras avanzaban impulsados por el viento. Con el tiempo, los buques de madera de los faraones destinados a la carga navegaban hasta Creta. Su inocente aspecto largo, pulido, con su blanca vela destacando sobre el mar, estaba lleno de una importancia extraordinaria.



Un navegante sofisticado. La atracción de cargamentos valiosos más allá de Egipto condujo a la construcción de buques más complejos que el que se ve aquí. Treinta remeros ayudaban a propulsar el buque que data de 1500 a.C. El aparejo permitía arriar las velas mientras el buque estaba anclado. Se hacía bajando la vanga superior hasta la botavara. Las cuerdas que van de las vergas al mástil servían para izar la vela. Otros aparejos de proa y popa servían para sostener el mástil.

En las colinas de la Fértil Media Luna, unos 100 años a.C. otro maestro de artesanía inventó otro ingenio portentoso. Había la costumbre de moler el grano entre dos pesadas piedras en forma de disco, una encima de la otra, estando la inferior fija; la piedra superior se hacía girar por medio de barras de mano que sobresalían de su circunferencia. Este innovador colocó sus ruedas de molino sobre un marco de madera horizontal sobre un arroyo de corriente rápida. En el centro de la piedra superior sujetó un eje vertical que hizo pasar a través de un agujero en la piedra inferior, haciendo firme ésta en la armadura. En la parte inferior del eje sujetó una pequeña rueda provista de paletas que penetraba en el borde de la corriente. Ésta hacía girar la rueda de paletas, el eje, la rueda de molino, y así se empezó a moler la harina.

La importancia de este propulsor primario, tanto para la tecnología como para la humanidad, jamás podrá apreciarse en todo su valor. Con frecuencia conocido por el molino nórdico, debido al extenso uso que se hizo de él en el norte de Europa, fue el primer mecanismo que puso a disposición del hombre, la fuerza de la corriente de agua, prototipo de los molinos hidráulicos, antecesor directo de las turbinas gigantes de hoy.

Consejo a los rendidos por el trabajo

Para las mujeres de las tierras altas del Mediterráneo, que no habían conocido época en la que no hubiera grano que moler trabajosamente a mano, el molino hidráulico fue una bendición, una delicia. El poeta Antipater de Tesalónica dijo en el siglo I a.C.: *«Cesad de moler, mujeres que trabajáis en el molino; dormid hasta tarde, aunque el canto del gallo anuncie la madrugada. Pues Deméter (Ceres) ha ordenado a las ninfas que efectúen el trabajo de vuestras manos, y ellas, saltando desde encima de la rueda, hacen girar el eje que con sus radios giratorios hace mover las cóncavas piedras de molino de Nisiria».*

Unos cinco siglos después, quizá en un oasis de la provincia persa de Seistan, donde los vientos abrasadores soplan a través de los desiertos de sal, otro inventor-labrador ideó una rueda de paletas montada en un eje vertical. No teniendo corriente de agua que la hiciera girar, la elevó para que la moviera la corriente de aire, inventando así el molino de viento.

¿Trastos groseros? ¿Molestos, ruidosos, defectuosos, ineficientes, barbarismos de madera? Ciertamente. Fueron, sin embargo, los principios.

Durante los siglos XIV y XV, en Inglaterra había máquinas nuevas movidas por fuerza hidráulica que molían minerales, serraban madera, movían los fuelles de fraguas, hacían papel, estiraban alambre. Al otro lado del canal, en los Países Bajos, unos 8.000 molinos de viento con velas movían sierras, molían grano y eran la fuerza motriz de las bombas que ganaban terreno al mar. Como la rueda hidráulica y el molino de aquellos tiempos proporcionaba una fuerza entre 5 y 10 caballos, los habitantes de ambos países tenían a su disposición cientos de miles de caballos propulsores iniciales. En el transcurso de otros dos siglos, los aplicaron a otros ingenios complicados que podían hilar hebras, tejer paños y producir aire a presión para los hornos de fundición. Esto hizo posible el hierro fundido, lo que a su vez hizo posible la fabricación de otras máquinas.

Un cálculo de Leonardo da Vinci

El Renacimiento desencadenó las mentes humanas, y el hombre empezó a sentir la importancia futura de la máquina. Leonardo da Vinci, visualizando las bolsas de

dinero que su proyectada máquina para pulir puntas de aguja podría dejarle, escribió en su libro de notas:

«Por la mañana temprano, 2 de enero de 1496, haré una prueba... Cien veces cada hora estarán listas 400 agujas, haciendo 40.000 en una hora y 480.000 en 12 horas. Supongamos 4.000 millares, que a 5 sueldos por mil da 20.000 sueldos: 1.000 liras por día de trabajo, y si uno trabaja 20 días por mes, 60.000 ducados al año».

Hacia fines del siglo XVI, William Lee, sacerdote inglés, produjo una máquina de tejer que sacaba de 1.000 a 1.500 puntadas por minuto, contra las 100 puntadas que el tejedor más rápido podía conseguir a mano. Una vocación que los artesanos textiles habían seguido durante generaciones estaba llamada a desaparecer. Tanto en Inglaterra como en el continente europeo empezó una de las incontables y desiguales luchas contra los odiados monstruos mecánicos. En 1596 un asesino pagado por el Consejo de la ciudad de Dantzig estranguló al inventor de un telar de cinta que ahorraba trabajo.

En 1753 los operarios textiles ingleses destrozaron la casa de John Kay, inventor de la lanzadera volante, y le obligaron a abandonar el país. «*¡Muerte a la máquina!*», gritaba la muchedumbre de tejedores de Nottingham llamados *Ludditas*, cuando destrozaron una máquina de vapor de una fábrica textil en 1815. (Recientemente, en 1960, los obreros de una fábrica de automóviles francesa trataron de destruir un computador electrónico que escogió a los empleados que había que dar de baja).



El principio de una batalla perdida. Entre los primeros enemigos de la mecanización había un grupo de ingleses en el siglo XIX, llamados Luciditos, tan enfurecidos contra las máquinas textiles que les dejaban sin empleo, que con riesgo de la pena capital destruían y quemaban las fábricas. En este dibujo, un dirigente Luddito, disfrazado de mujer, arenga a sus seguidores. Los disturbios Ludditos estallaron en 1840, cuando los artesanos se volvían dóciles vigilantes de las odiadas máquinas.

Desde el principio fue una batalla perdida. Las máquinas resultaban ser rápidas, baratas en su manejo, y muy buenas en su trabajo. Como un auténtico torrente, la gente empezó a producir en Inglaterra y en Europa nuevos inventos que servían para cortar, perforar, taladrar, girar, pulimentar, rajar, esquivar, laminar y estampar. Los seres humanos no podían competir. Cuando entró en funcionamiento una fábrica en Portsmouth en 1808, construida por sir Samuel Bentham y sir Marc Isambard Brunel para fabricar poleas para la Marina británica, su equipo de 144 diferentes máquinas de precisión movidas a vapor producía los poleas a razón de 130.000 al año.

Diez hombres no expertos, por el simple hecho de atender las máquinas, realizaban el trabajo de 10 expertos en hacer poleas.

América se enfrentaba con el problema de dominar un continente en estado salvaje; las máquinas yanquis y las herramientas fabricadas a máquina hicieron posible la conquista: las hachas que limpiaron los bosques; el arado de acero endurecido de James Oliver, que rompió los duros terrones de la pradera; la segadora de Cyrus Hall McCormick, el extraño y milagroso «*cruce entre un carro, una carretilla y una máquina voladora*», según la descripción del Times, de Londres, y que cortaba una faja de trigo de 68 metros de largo en 70 segundos; el «*Geólogo Yankee*», una excavadora a vapor que sacaba un metro cúbico de tierra a cada pasada de su uña de hierro, haciendo el trabajo de cien robustos peones de pico y pala; el desgranador de maíz de Welcome Sprague, alimentado por cadena, que sacaba suficiente maíz de las mazorcas en un día para llenar 15.000 latas; el «*pea-viner*» de Scott & Chisholm, que sacaba los guisantes de las vainas todo el largo día en la misma cantidad que lo hubieran hecho 600 personas trabajando a todo rendimiento.

Un ejército esclavo de los caballos de fuerza

Desde aquellos animosos primeros tiempos, la tecnología de máquinas ha tenido un auge tan extraordinario y abarcándolo todo, que los 10.967.285.000 caballos de fuerza que los Estados Unidos han producido sólo en 1960 para mover sus máquinas, representan aproximadamente la equivalencia de trabajo de 1,200 esclavos por cada hombre, mujer y niño de la nación. La población de maquinaria ha dejado atrás desde hace tiempo a la población humana. Según nuestro censo más reciente, en los Estados Unidos había 73.769.000 vehículos a motor, 74.057.000 teléfonos, 55,500.000 aparatos de televisión, 154.600.000 de radios, y 574.178.000 de relojes, cafeteras, mezcladores, cocinas, máquinas de afeitar, limpiadoras de vacío, lavadoras y otros, con un total de 932.104.000 de máquinas. Llama más la atención todavía lo que ha aumentado el gasto que se hace en máquinas para control automático y equipo de automatización para la fabricación, desde una cantidad insignificante en 1950, de 6,8 billones de dólares en 1961 a 8,4 billones en 1963.

Un tipo que alcanza una propagación fenomenal corresponde a la más formidable de todas las máquinas, el computador electrónico. El valor de los embarques de computadores hechos por los fabricantes se elevó de 350 millones de dólares en

1950 (una fracción menor de este total correspondió a cajas registradoras) a 1,3 billones de dólares en 1960, un aumento de más de 250 por 100.

Con todo este predominio de la máquina en nuestras vidas actuales, no hay ninguna valoración de su papel básico que haya mejorado la estimación del profesor Reuleaux allá en 1875, en *Kinematics of Machinery*, citado anteriormente («*kinematica*» se deriva del griego *kinema* o movimiento, y se refiere a la ciencia del movimiento).

Reuleaux, por cierto, produjo su obra porque estaba preocupado por la falta de comprensión de la máquina, así que se decidió a escribir algunas verdades sobre las mismas. Vio en primer lugar que una máquina impone ley y orden sobre «*el irreprímido poder de las fuerzas naturales, que accionan y reaccionan con ilimitada libertad*».

Por su propia lógica, convierte esta fuerza en movimiento disciplinado y refinado. La máquina perfecta es la perfección de la disciplina; sus eslabones son tan interactivos y de tal forma y rigidez, que permiten a cada parte móvil un solo movimiento, el que se requiere.

Dos de los fundamentos propugnados por Reuleaux muestran incluso a los que temen y desconfían de las máquinas, y son muchos, lo irrevocablemente comprometidos que estamos los humanos con ellas.

Lo primero se refiere a la naturaleza de la relación hombre-máquina. Según Reuleaux lo vio, la mayor parte de las máquinas representan una cadena cinemática cerrada, un eslabonamiento de movimientos, que da principio y fin en la gente. Cuando conducimos un coche, la mano que hace girar la llave de contacto, el pie que pisa el pedal del acelerador, los ojos que ven la luz roja, todos se convierten en partes esenciales de la máquina, partes sin las cuales no podría funcionar.

Lo poético y lo geométrico

El segundo fundamento de Reuleaux se refiere a la geometría y, en cierto sentido, a la poesía de la máquina. Habla de movimiento rotativo y roza lo universal en nuestras vidas. Somos una nación sobre ruedas. Los relojes que regulan nuestras vidas están abarrotados de ruedas. Los carretes de películas de cine giran; lo mismo

ocurre con los discos de gramófono, carretes de cinta magnetofónica, máquinas de imprenta, indicadores de bombas de gasolina, hélices de buques.

«Lo mismo que el viejo filósofo comparó la constante y gradual alteración de las cosas a un fluir, dijo Reuleaux, y lo condensó en la oración: "Todo fluye", así podemos expresar los innumerables movimientos en esa maravillosa producción del cerebro humano que llamamos una máquina en una palabra, "Todo rueda"... La misma ley fundamental de rodar se aplica a los movimientos mutuos de las partes... Éstos son... como si dijéramos, el alma de la máquina, gobernando sus articulaciones, los mismísimos movimientos corporales, y dándoles expresión inteligible. Forman la abstracción geométrica de la máquina y le confieren, además de su significado externo, uno interior, que le da un interés intelectual mayor para nosotros que cualquier otro que pudiera poseer.»

El hombre ha utilizado la máquina para usos espantosos y trágicos. Con ellas ha conseguido también sus mayores triunfos. No obstante, cosa extraña, cuando está más íntimamente ligado a una máquina, cuando la conoce y la quiere de veras, no es el hombre el que se vuelve como una máquina; es la máquina la que se hace humana, cantando y pulsando con poder viviente. Charles Lindberg, al cruzar volando el Atlántico en 1927, lo sintió. *«La vibración regular del motor, haciendo temblar hacia atrás el esqueleto de acero del fuselaje, da vida a la casilla del piloto y los mandos, fueron sus palabras. Fluyendo a mi mano a través de la palanca, es el pulso del aeroplano. Si falla un cilindro una sola vez, lo percibiré tan claramente como si un corazón humano hubiera fallado una pulsación al tacto de mi dedo pulgar».*

Como para Lindberg entonces, para nosotros ahora. Nuestro destino está inalterablemente ligado a la máquina. No se puede volver atrás.

Las Cinco Máquinas Fundamentales

«Armado con su maquinaria, el hombre puede bucear, volar y ver los átomos como un mosquito, dijo Ralph Waldo Emerson. Puede escudriñar Urano con su telescopio o destruir las ciudades con sus puños de pólvora.»

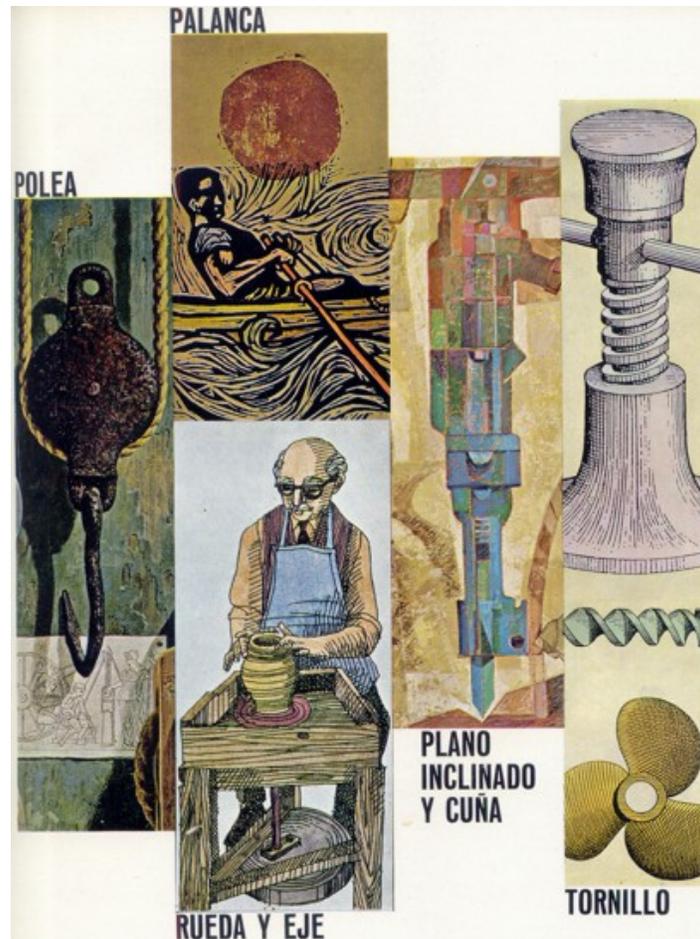
Hoy tenemos máquinas que pueden hacer mucho más. No obstante, las partes móviles de todo ingenio mecánico pueden reducirse todavía a las cinco «máquinas simples» conocidas de los antiguos griegos:

- la palanca,
- la rueda y el eje,
- la polea,
- el plano inclinado y
- la cuña y el tornillo.

Los griegos también habían aprendido que una máquina funciona porque un «esfuerzo» que se ejerce en una «distancia esfuerzo», se aumenta a través de la «ventaja mecánica» para superar una resistencia sobre una «distancia resistencia)». Todo ello se resume en la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{ventaja mecánica} &= \text{resistencia} / \text{esfuerzo}, \text{ o} \\ \text{ventaja mecánica} &= \text{distancia esfuerzo} / \text{distancia resistencia}. \end{aligned}$$

Aplicaciones de esta fórmula se describen a continuación.



El dominio de la palanca. Ejemplos conocidos de cinco «máquinas simples»: son la polea elevadora, el remo (una palanca), la rueda del alfarero (rueda O eje), el martillo neumático (plano inclinado o cuña) el gato y la hélice de buque (ambos tornillos). Los cinco máquinas simples de los tiempos clásicos están relacionadas entre sí, y se atribúan a un solo principio, la ley de la palanca.

LA PALANCA

Antiguas palancas sencillas: Fuerza masiva de muchas formas

“¿Cómo es que los dentistas sacan las muelas más fácilmente empleando un extractor de muelas que con sólo la mano?”, preguntó un griego teórico antiguo. Arquímedes dio la respuesta al decir “pesos iguales a distancias desiguales... se inclinan hacia el peso que está a mayor distancia”. Ambos hablaban de la máquina más antigua del mundo: la palanca.

Toda palanca tiene un punto fijo llamado “fulcro” (en el caso anterior, el eje de las tenazas) y está accionado por dos fuerzas: el “esfuerzo” y el “peso” (músculo del dentista, resistencia de la muela).

En su forma más simple, el pie de cabra, la palanca es un ingenio que aumenta el efecto de un pequeño esfuerzo para mover un gran peso. Al invertir el esfuerzo, sin embargo, el fulcro cambia la relación; sacar una trucha del agua requiere mucho mayor esfuerzo que el peso del pez. Pero el esfuerzo aumenta cuanto mayor sea la distancia recorrida por el pez.

Las formas de la palanca son extraordinariamente numerosas, pues las partes movibles de cualquier ingenio mecánico pueden reducirse a palancas. Arquímedes no era ni modesto ni ligero cuando afirmó: *"Dadme un fulcro en el que pueda apoyarme y moveré la Tierra"*.



Figura 018

Una variedad de palancas

Los tres tipos de palanca, convencionalmente llamadas primera clase, segundo clase y tercera clase.



Ya ilustradas arriba por el mango de la bomba, la carretilla y el antebrazo del boxeador. Las palancas de la primera clase tienen el fulcro entre el esfuerzo y el peso. Como ejemplos tenemos el remo, el pie de cabra, la balanza, las tijeras y tenazas. Son palancas de segunda clase, la palanca de la vagoneta movida a mano

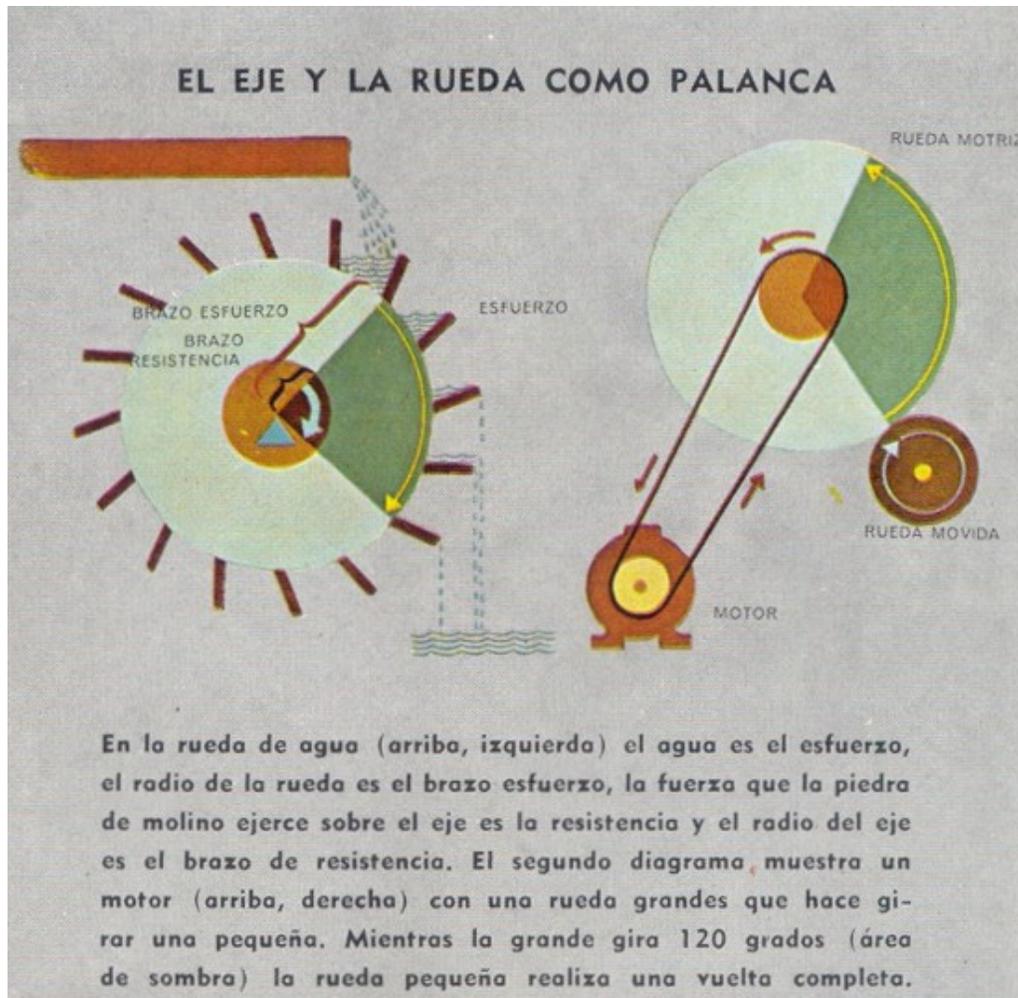
y las puertas. Las palancas de tercera clase, como la pala excavadora o el antebrazo del bateador de béisbol, tienen el esfuerzo en el medio y aumentan la distancia.

LA RUEDA Y EL EJE

Del molinete a la turbina de vapor: Palancas en redondo

Los antiguos se dieron cuenta que el peso y esfuerzo en una palanca eran capaces de describir un círculo alrededor de su fulcro. Cuando inventaron una palanca que podía dar vuelta a los 360° del círculo, idearon la segunda de las cinco máquinas básicas: la rueda y el eje.

Uno de los primeros usos de esta máquina elemental para el hombre fue en el molinete, para mover pesos que eran demasiado pesados para ser movidos a mano. Ató una cuerda al peso y después sujetó el otro extremo a un eje. Unos mangos en la rueda del eje le permitieron hacerla girar. Lo mismo que en una palanca, la cantidad de fuerza está en razón de dos longitudes: la del radio del eje y la del radio de la rueda. Y lo mismo que las palancas pueden ser movidas por otras palancas, asimismo la ventaja mecánica de la rueda y el eje se puede aumentar utilizando una serie de ruedas engranadas de diferentes tamaños (izquierda). La notable versatilidad de estas palancas de 360° está claramente demostrada en las diversas formas en que la rueda y el eje están colocados en muchos ingenios populares en los que jamás pensaríamos fueran ruedas, un destornillador, un grifo del agua, una llave en su cerradura.



Una redada de ruedas

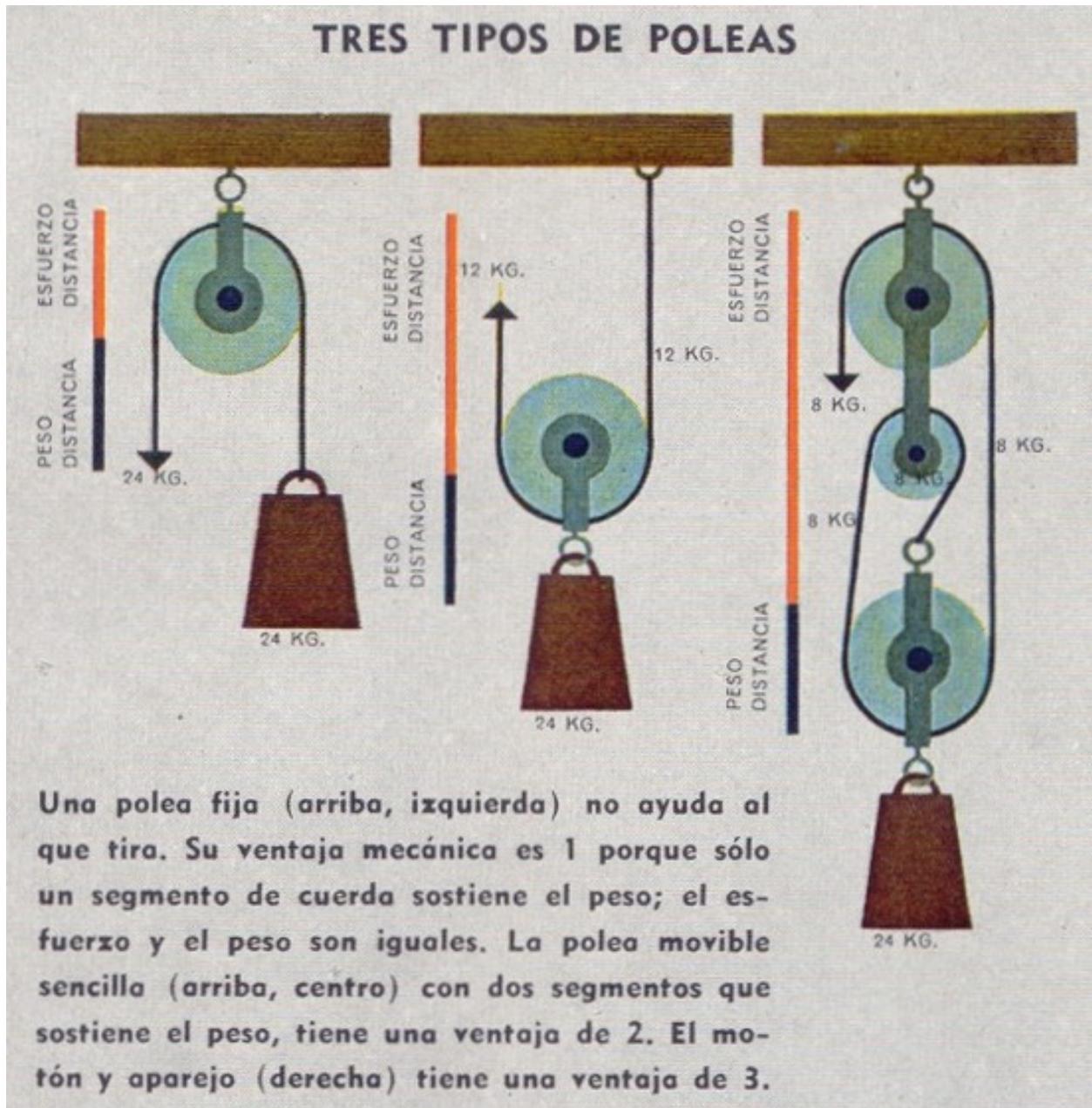
La rueda de agua, molino y turbinas (dibujos a la izquierda) todos convierten la energía cinética de una sustancia en movimiento (agua, aire, vapor, en la energía mecánica de un eje en rotación. La rueda del alfarero puede ser lo primera utilizada por el hombre. Algunas de las ruedas que aquí aparecen, son rodillos pasivos, es decir, ruedan simplemente en vez de ser rueda y eje, palancas circulares. Por ejemplo: las ruedas de los polines, la rueda trasera del biciclo, las ruedas pequeñas de la correa de rodillos, y todas las ruedas de un tren excepto las cuatro motrices. La correa de rodillos va movida por sus ruedas dentadas.

LA POLEA

De levantar un cubo, al elevador de construcción eléctrica

“Si queremos mover cualquier peso, atamos una cuerda a este peso y... tiramos de la cuerda hasta que lo levantamos. Para esto se necesita una fuerza igual al peso que deseamos levantar. Sin embargo, si desatamos la cuerda del peso y atamos un extremo en una sólida viga, pasamos el otro extremo por una polea que vaya sujeta al centro del peso, y tiramos de la cuerda, moveremos más fácilmente el peso.”

Este relato del siglo III es una de las descripciones más antiguas y más claras de la diferencia entre una polea fija (abajo, izquierda) y una polea móvil (abajo, centro). La polea fija no proporciona ayuda alguna al que tira.



Para los demás sistemas complejos de poleas unidas por una sola cuerda, la ventaja mecánica la proporciona el número de segmentos de cuerda que soportan el peso. Tal ventaja, no obstante, se consigue a costa de algo; un esfuerzo menor es necesario para levantar un peso, pero la distancia a través de la cual el esfuerzo debe moverse aumenta en proporción directa a la ventaja mecánica obtenida. Así, utilizando el motón y aparejo (abajo, derecha) para levantar el peso de 24 kg. 90

cm. (línea negra) se requieren 8 kg. de esfuerzo ejercidos en una distancia de 2,70 metros (línea roja).



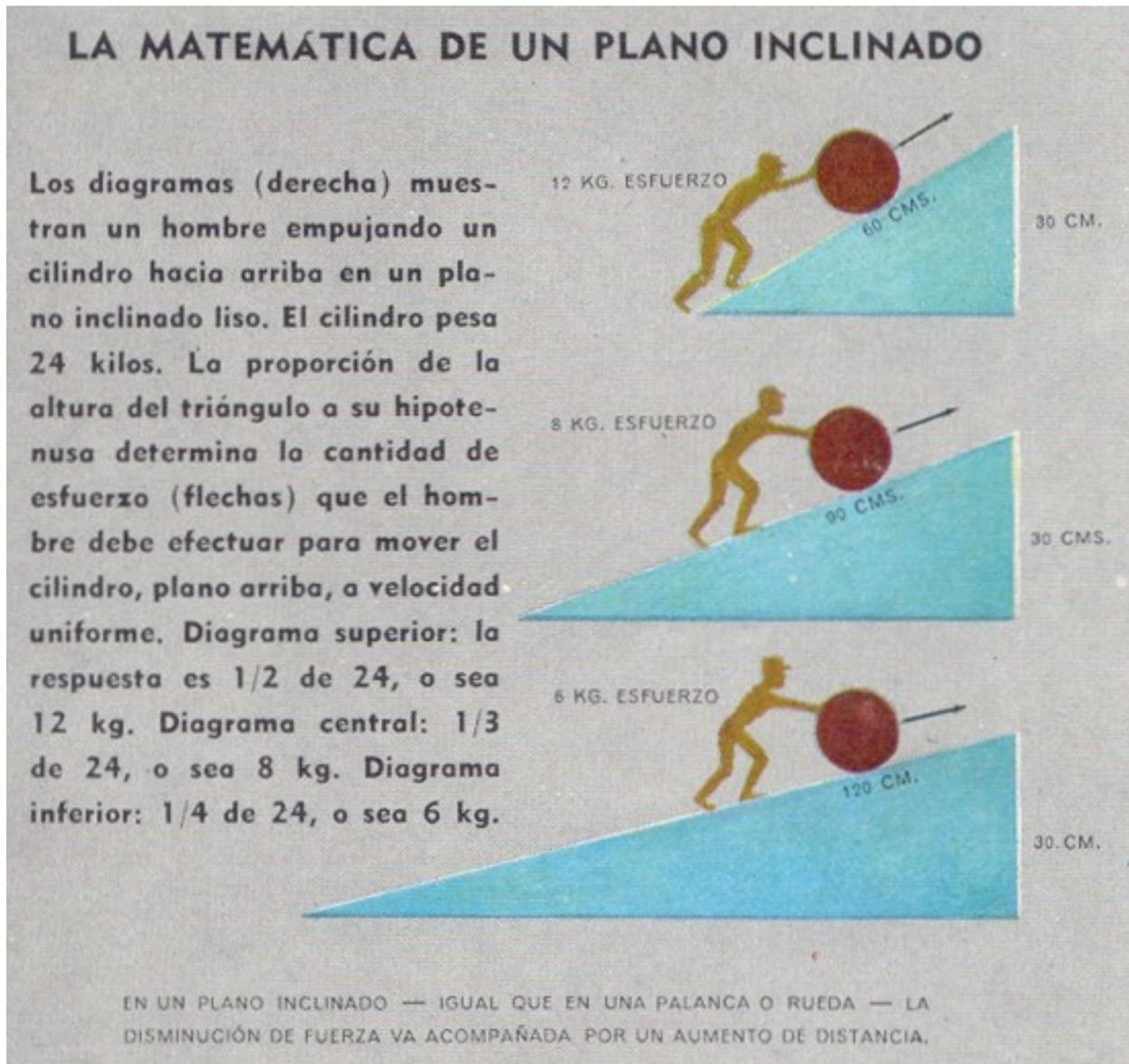
Una colección de poleas. El molinete y polea para sacar agua de un pozo (grabado izquierda) es uno de los usos más antiguos de la polea fija simple. Los romanos mejoraron esta grúa primitiva reemplazando el molinete por una noria. El motón y aparejo usan poleas múltiples, como se ve en el motón de dos roldanas que domina el grabado. Los demás dibujos muestran un motón con un agujero para un gancho; tres poleas motrices de diferentes tamaños conectadas por correas flexibles para que cambien las velocidades de rotación de cada una; una polea fija; un aparejo en forma de elevador de funicular; y una polea elevadora simple.

EL PLANO INCLINADO Y LA CUÑA

Una victoria que facilita la tarea del hombre

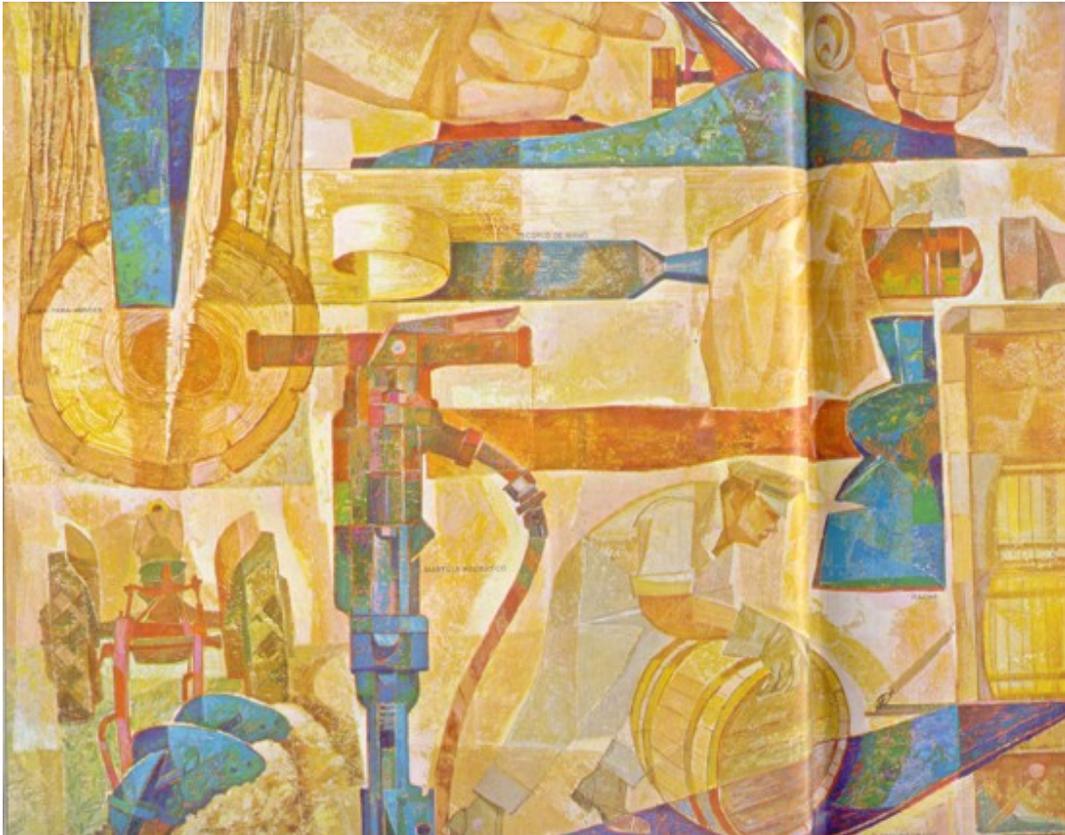
Las rampas, carreteras inclinadas, escoplos, hachas, arados, martillos neumáticos, cepillos de carpinteros, todos ellos son ejemplos de la cuarta máquina básica: el plano inclinado y su activa hermana gemela la cuña. En un sentido amplio, la cuña comprende todos los ingenios para cortar y taladrar, todo, desde el cuchillo de cocina hasta la "cuña volante" del fútbol americano.

Es más fácil comprender cómo trabaja la cuña mirando al plano inclinado que no es más que una cuña en sección (diagrama abajo). Mientras que la cuña hace su trabajo al moverse, el plano inclinado se mantiene fijo cuando el material "cuñado", por decirlo así, se mueve sobre el mismo.



El secreto de la ventaja mecánica del plano: para un objeto que descansa sobre el plano, la fuerza vertical de la gravedad que actúa sobre él, está dividida en dos fuerzas más pequeñas, una perpendicular y otra paralela al plano. Y solamente es la fuerza paralela la que necesita ser neutralizada al empujar. Si no hay fricción en el

plano, el esfuerzo necesario de empuje será una décima parte del peso si la longitud del plano es diez veces su altura, O sea, una distancia superior hace posible aplicar un esfuerzo menor.



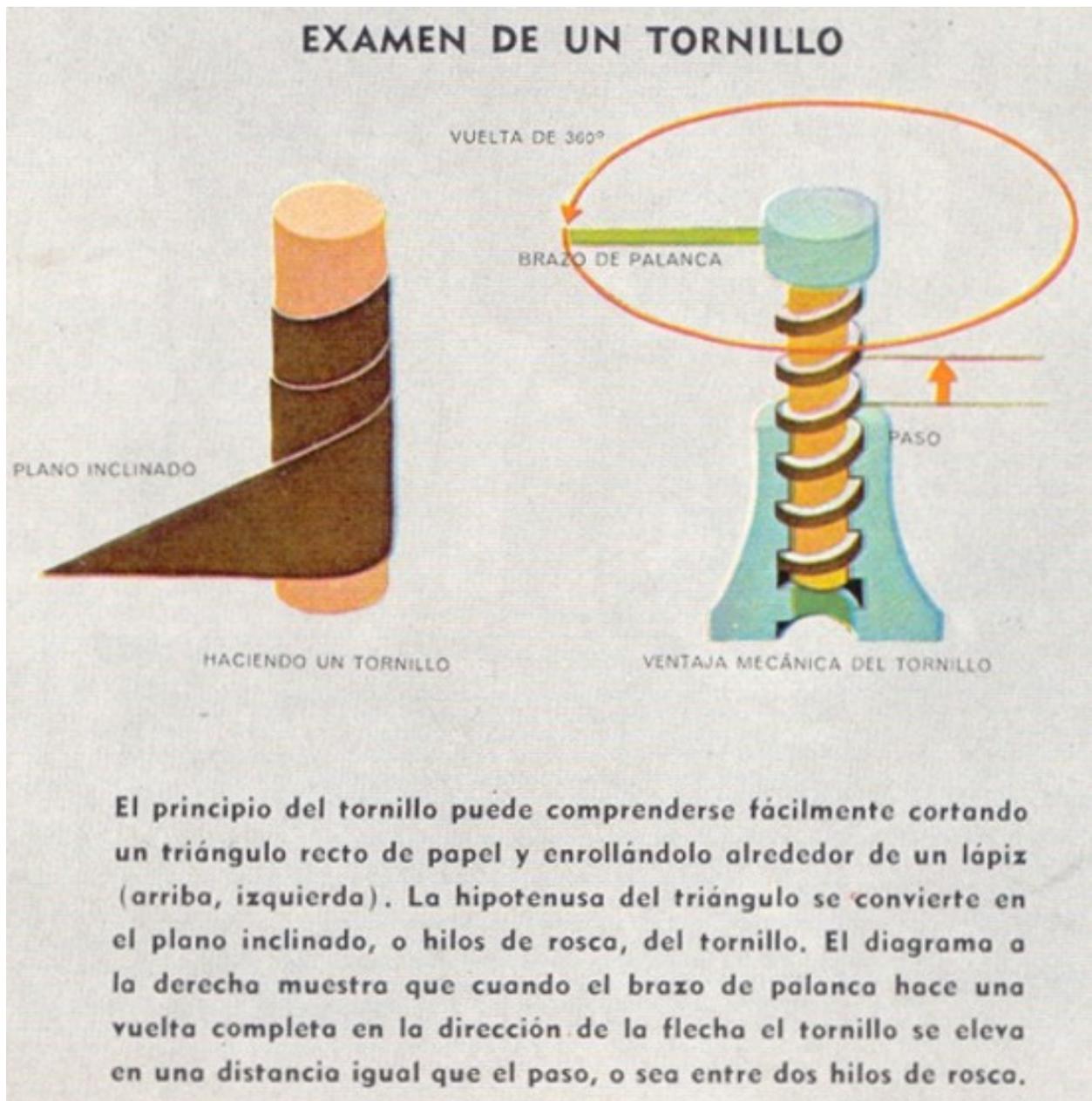
Una composición hecha con cuñas. En la composición hay seis diferentes clases de cuñas, un escoplo, un hacha, un arado, un martillo neumático, un cepillo de carpintero y una cuña do hender. Debido a su estructura en capas, la madera se puede dividir o dar forma por medio de cuñas; por tanto los carpinteros y leñadores fueron de los primeros que utilizaron esta máquina simple para hacer las herramientas de su oficio. El arado, que es en realidad una serie de cuñas, no hace tanto romper el terreno como darle vuelta. La rampa del grabado por la cual sube un hombre empujando un barril es un plano inclinado del cual se deriva la cuña.

EL TORNILLO

Complejidad en la sencillez: Una vuelta más para la cuña

Alrededor del año 200 a. de J. un matemático griego, Apolonio de Perga, desarrolló la geometría de la hélice espiral, y trazó las bases de la quinta y más joven de todas las máquinas simples: el tornillo. En cierto sentido, un tornillo no es una máquina

son arrastradas hacia delante por la menor presión delante de ellas. Los calibres son realmente una palanca de la tercera clase en los que el tornillo y la mariposa producen el esfuerzo. Una tuerca y tornillo son gemelos opuestos. Lo tuerca hueca es una inversión del tornillo, con la espiral en lo superficie interior.



Capítulo 2

Un Instrumento Aclimatado en la Guerra y en la Paz



RUEDA BENÉFICA. Al mismo tiempo que el hombre de tiempos pasados producía artefactos poco amistosos, producía también máquinas para ayudarle o vivir una vida mejor. Notable entre éstos era una rueda para aprovechar la fuerza de la corriente de agua con destino al riego. Las ruedas hidráulicas como la de arriba, todavía florecen y alegran un paisaje de Camboya.

Tres cosas sin las que el hombre no podría vivir, inspiraron la máquina de los tiempos clásicos: guerra, diversión y trabajo. Varios miles de años de experiencia y la más sofisticada semántica de nuestro tiempo han reducido las categorías a dos solamente: las máquinas son o bien positivas, dedicadas a la vida y bienestar humanos, o negativas, dedicadas a la muerte y destrucción humanas. Hay, por una parte, los múltiples ingenios que aligeran la tarea cotidiana, invitan al descanso y alivian el dolor.

Hay, por otra parte, proyectiles, cohetes, lanzallamas, el B-52, los Polaris, los computadores preparados para calcular las muertes por millones y las que se produzcan por «fallout», y la misma bomba F1, la máquina del día del juicio, sencillamente horripilante, que puede convenirse, después de todo, en amigo instrumental del hombre: será lo que, por miedo, le conduzca a la paz.

El mismo incesante contrapunto entre la senda de la guerra y la senda de la paz ha caracterizado las máquinas del hombre en los siglos pasados. Sólo la magnitud ha cambiado.

Sea fría o caliente, la guerra siempre ha sido una creadora prolífica de máquinas. En el siglo VII a.C. los ejércitos asirios atacaban las murallas de las ciudades enemigas con monstruosos arietes montados sobre ruedas; algunos llamados tortugas estaban acorazados con armaduras de cuero crudo rígido para protegerse de las flechas disparadas.

Unos años más tarde los generales griegos Alejandro y Demetrio construían torres con ruedas de 10 ó 20 niveles de altura, con pasarelas en todos los niveles, por las cuales las fuerzas atacantes pudieran irrumpir y combatir mano a mano sobre las murallas enemigas; resultaba posible transportar estas inmensas estructuras a los lugares estratégicos a lo largo de las murallas. Otro ingenio de castigo se atribuye a aquella brillante estrella de la ciencia griega, Arquímedes: un inmenso gancho de hierro que, durante el sitio de su ciudad natal, Siracusa, levantaba buques enteros de la flota invasora y los estrellaba contra las rocas.

Otros triunfos griegos comprendían máquinas de muerte primitivas y sólidas movidas por torsión, la misma fuerza que puede uno observar si estira una goma entre el pulgar y el índice, y hace girar un trozo de lápiz entre los dos largos, soltándolo después.

Tanto el *euthytonon*, una catapulta para lanzar dardos, como el *palintonov*, un lanza-rocas, constaban de unas madejas gemelas de cordel, tripa o pelo humano apretadamente torcidas. Entre las madejas se metían fuertes piezas de madera de las que se tiraba por medio de cuerdas sujetas a molinetes equipados con una rueda dentada, una serie de muescas en las que encajaba un pivote de enganche. Al soltarlo, las piezas de madera daban un latigazo hacia adelante de una fuerza

tremenda, y disparaban una lanza con punta de hierro o una piedra de cinco kilos sobre el desventurado objetivo.

Alguna de las imaginaciones fértiles que producían las armas mortíferas del mundo helénico, también ingeniaron sus instrumentos de paz. Se cree, por ejemplo, que Arquímedes inventó un elevador de agua, o tornillo, que tiene un movimiento sencillo, pero de gran efectividad. En forma modificada, se utiliza para el riego todavía en nuestros días cerca de las costas del Mediterráneo. Otro elevador de agua, la bomba de fuerza, se le acredita a Cresibio un contemporáneo de Arquímedes. Ésta fue, con toda certidumbre, la primera aplicación del mecanismo tan familiar de nuestros tiempos del pistón y el cilindro, cuyo funcionamiento puede ilustrarse por medio de una jeringa hipodérmica. Se hacían funcionar dos cilindros y pistones por medio de bielas y mangos. La fase de entrada aspiraba el agua a través de una válvula en la base de un cilindro; la presión de la fase de escape cerraba la válvula y al mismo tiempo hacía salir el agua del cilindro a través de un tubo.

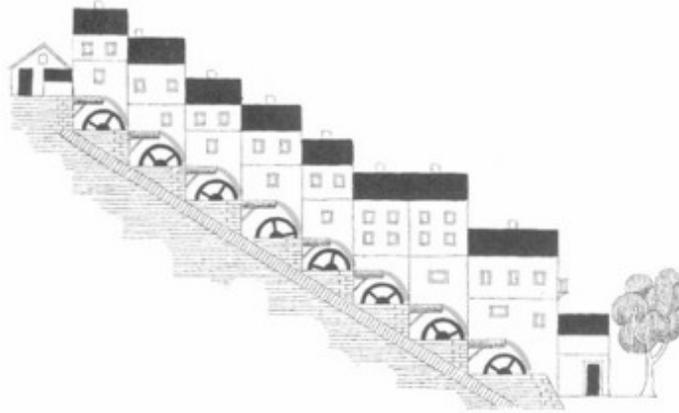
Hazañas de un ingenioso

Un principio igualmente básico de maquinaria moderna apareció en un artefacto ideado por Herón de Alejandría. Al dedicarse a su distracción favorita, construir mecanismos para templos y teatros, Herón montó un *anemourion*, una máquina de viento para dar fuerza a un pequeño órgano. Su rasgo más notable era una leva, una madera corta y rígida que sobresalía del eje de una rueda equipada con paletas para el viento. Cuando el viento hacía girar la rueda, la leva hacía bajar una palanca que hacía mover el pistón que suministraba el aire para el órgano; como la leva continuaba dando vueltas, resbalando sobre la leva, el pistón volvía a caer. Al convertir el movimiento rotativo en un movimiento recíproco hacia arriba y hacia abajo, la rueda y el eje con leva se convirtieron en otro elemento de máquina primaria.



UN AZOTE DE BATALLA MEDIEVAL. Esta torre de ataque en forma de dragón aparece en un tratado italiano de armamento del siglo XV. Aunque parece una invención fantástica, este monstruo mecánico tenía existencia en la vida real. Tales artefactos eran trasladados sobre rodillos hasta las murallas enemigas; con frecuencia disparaban proyectiles en forma de flecha desde los cañones que llevaban montados en la boca.

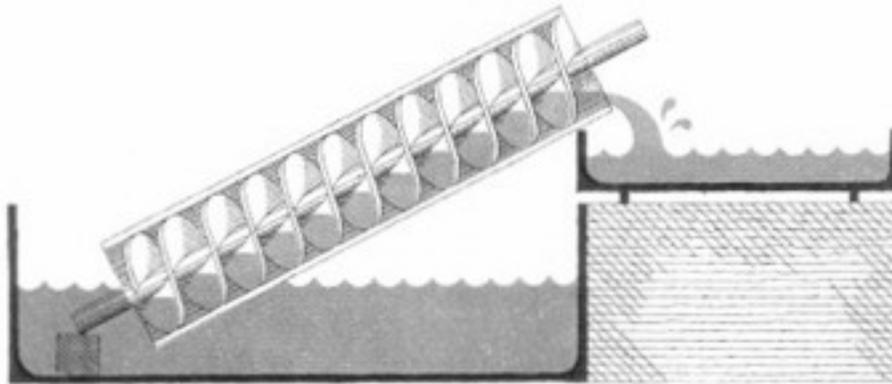
Sin embargo, el ingenio más notable de Herón fue el *aeolipile*. Un juguete que no se empleó para nada útil, que no consistía más que en una pequeña vasija de cobre, llena de agua y colocada sobre un trípode, pero progenitor de la moderna turbina de vapor. A través de dos agujeros en la tapa de la vasija pasaban dos tubos, uno hueco, en ángulo, que entre ellos sostenían un globo hueco que podía girar sobre un eje horizontal. Dos tubitos sobresalían del globo y estaban doblados en ángulo recto como los brazos de una svástica. Para hacer girar el *aeolipile* se encendía el fuego debajo de la vasija. Cuando el agua hervía, el vapor subía por el tubo hueco al interior del globo y salía disparado y escupiendo por los tubos doblados. Así giraba el globo alegremente.



UN COLOSO ROMANO TRABAJANDO. La disposición de los romanos para hacer las cosas a lo grande puede verse en esta reproducción de la vista lateral de los molinos harineros que construyeron en Barbegal, Francia, para aprovechar la fuerza hidráulica. El mecanismo consistía en dos series de ocho ruedas, escalonadas en una ladera. Los cobertizos entre las ruedas albergaban 16 pares de muelas, cada uno movido por su rueda.

Lo que hicieron estos dotados mecánicos griegos, lo hicieron con disposición y elegancia; pero correspondió a un ingeniero romano pragmático del siglo I a.C. el dedicar las máquinas a un trabajo serio y pesado. Lo consiguió de un golpe sencillo e inspirado: convirtió la tosca rueda nórdica, poniéndola sobre su borde, y de esta forma inventó un propulsor inicial, la rueda hidráulica vertical. La nueva rueda, llamada de *Vitrubio*, porque fue descrita por primera vez por el arquitecto Vitrubio, estaba en principio movida por el agua que fluía por debajo de la misma. Finalmente, hubo tres tipos de ruedas en funcionamiento: la rueda de acción inferior, la de acción frontal, y la más eficaz de todas, la gran rueda de acción superior.

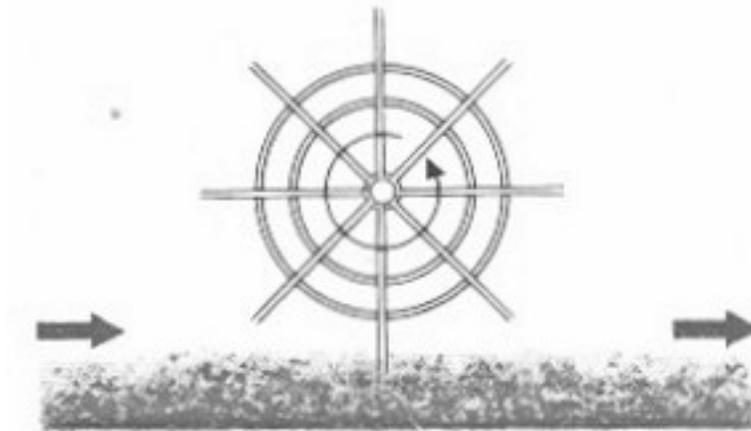
La rueda de Vitrubio empezó a utilizarse en una época propicia en los asuntos de Roma. Militarmente, el ejército estaba perdiendo su empuje. La esclavitud estaba decreciendo. Para hacer frente a la necesidad, los ingenieros pronto empezaron a construir máquinas casi tan monumentales como el mismo Coliseo; por ejemplo, los molinos harineros de Barbegal, construidos cerca de Arles alrededor del siglo IV, se dice que producían 28 toneladas de harina en un día de 10 horas de trabajo, suficientes para 80.000 personas.



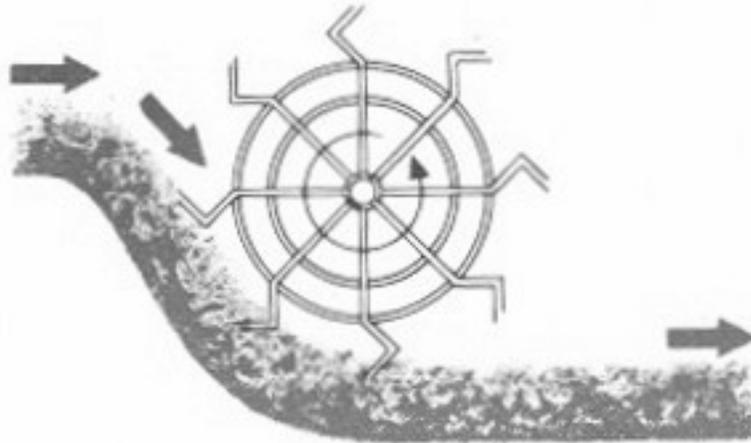
MONUMENTO A UN GENIO GRIEGO. Atribuido a Arquímedes, este tornillo elevador de agua, ilustrado en sección transversal, tuvo un impacto tecnológico fuera de toda proporción a su sencillez. Utilizado extensamente para el riego, consistía en una viga redonda de madera circundada por un espiral de tiras de madera de canto y todo ello encajado en tablas. Metido en ángulo en el agua se le hacía girar con el pie y hacía subir el agua por la espiral y salir fuera.

Al pasar el tiempo, el hombre encontró nuevos métodos de extender su conocimiento mecánico, que andaba a tientas.

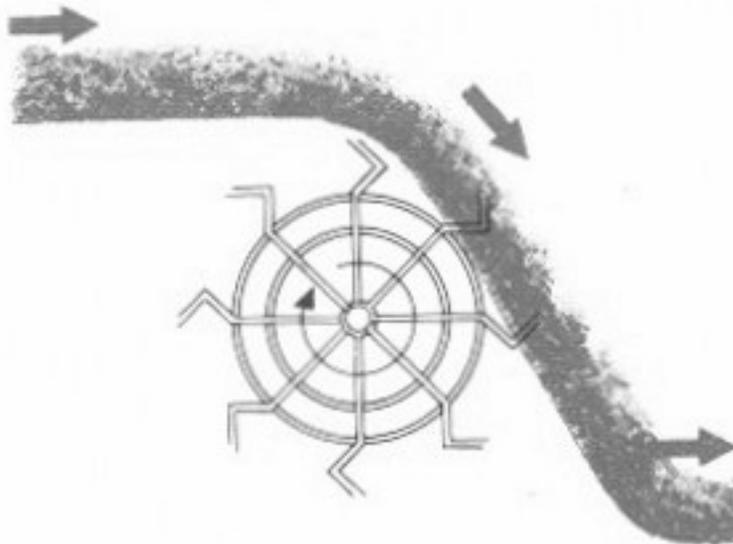
TRES RUEDAS Y TRES MANERAS DE APROVECHAR EL FLUJO DEL AGUA



RUEDA DE ACCION INFERIOR: El agua corre por debajo de esta rueda y al tropezar con las paletas inferiores la hacen girar. Es la dirección de la corriente (flechas oscuras) lo que hace que la rotación sea contra-reloj.



RUEDA DE ACCION FRONTAL: Una rueda situada para recoger el agua que cae en su punto medio, puede equiparse con cubos en las paletas. El peso del agua recogida en los cubos acelera la rotación de la rueda.



RUEDA DE ACCION SUPERIOR: El agua que cae sobre una rueda desde arriba también permite el uso de cubos en las paletas. Tanto la frontal como la superior consiguen mayor velocidad de la fuerza del agua al caer.

Es curioso que el embotamiento que se asentó sobre la cultura y la erudición en la edad de las tinieblas, no tuviera nada que ver con la tecnología. La necesidad de armas y herramientas mantuvo a los hombres mejorando las máquinas viejas e ideando otras nuevas aun en aquella época sombría. El desarrollo de la herradura de hierro y unos arneses prácticos para el arrastre, hicieron del caballo un propulsor

primario efectivo alrededor del siglo X; unos poderosos molinos movidos por el viento se extendían desde Inglaterra a Rusia allá por el siglo XIII.

Fue el agua, y la rueda hidráulica, lo que continuó siendo la única y mayor fuente de energía para el hombre hasta la aparición del vapor. El agua podía almacenarse, no necesitaba avena ni establo, nunca estaba enferma, vieja o fatigada y, al contrario que el viento, jamás o rara vez se sentía voluble. Se despeñaba por la montaña, ansiosa de hacer girar las ruedas para beneficio de la casa señorial, ganancia del molinero, el mejoramiento de la suerte de todos. Al perfeccionarse las ruedas hidráulicas, suministraron la fuerza para las máquinas que serraban madera, prensaban olivas y trabajaban los tejidos. Más emocionante todavía es que la fuerza hidráulica pudo ser puesta en uso en las ricas minas de oro, plata, cobre, hierro, zinc y plomo que bordean los ríos de la Europa Central.

Bullicio y plena marcha

Los dibujos medievales de las escenas en lo más profundo de la Selva Negra muestran el bullicio de la nueva mecánica, de resoplantes fuelles, llameantes hornos de fundición, el resonar de los yunques, el estruendo de los martinets, el retumbar de trituradores de mineral, los hombres como gnomos izando objetos con cuerdas y cadenas. Estas operaciones marcaron un avance portentoso en la evolución de la máquina.

La clave en la mayor parte de los mecanismos de transformación resultó ser la leva que había originado Herón de Alejandría. Un triturador de minerales, por ejemplo, consistía en una rueda hidráulica cuyo eje principal estaba equipado con dos, quizá tres, levass protuberantes. Al dar vueltas golpeaban efectivamente desde abajo, una clavija unida a un árbol vertical.

Encajado en el extremo inferior del árbol había un pesado martillo de metal. Así, pues, cada leva, al pasar, hacía levantar el árbol y el martillo, y lo dejaba caer con fuerza pulverizadora sobre el mineral que estaba debajo. A veces, sin embargo, el peso del martillo o de otras herramientas en otros procesos, no era bastante para completar el ciclo. Para solventar el problema, los mecánicos habilidosos de entonces instalaron una percha flexible por encima. Por lo que se ve en un dibujo francés del siglo XIII, de una sierra mecánica en funcionamiento, la acción

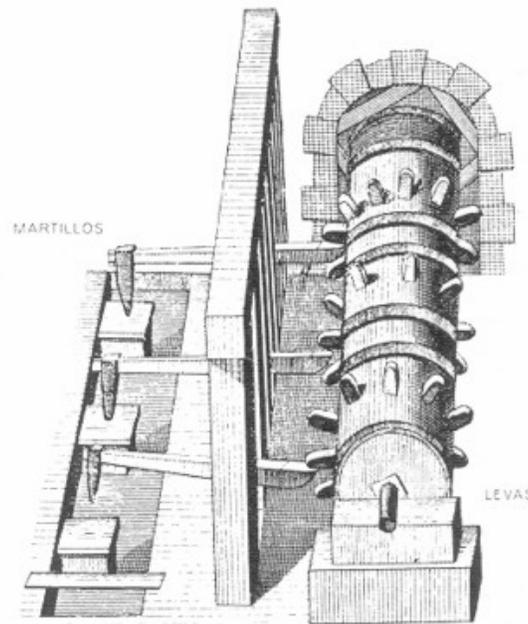
hidráulica de las levas sobre un marco que sostenía la parte inferior de la hoja de sierra, hacía descender la sierra contra la resistencia de una percha elástica empalmada en el extremo superior de la sierra. Cuando las levas dejaban de actuar sobre el marco, la percha se enderezaba.

La innovación de esta percha elástica incorporó a la máquina una correspondencia inesperada. Pronto se le encontró una aplicación de gran importancia en el torno, el ingenio que hace girar un trozo de madera, metal u otro material, mientras que una pieza cortante o con determinada forma se aplica a la superficie que gira. Es uno de los más perseverantes compañeros mecánicos del hombre; los arqueólogos han encontrado tazones de madera, cuya fecha se remonta al siglo II a.C. que sin duda han sido hechos con ayuda del torno. En nuestro tiempo, los tornos se cuentan entre las más fundamentales de nuestras herramientas mecánicas: «*máquinas que hacen máquinas*», que producen tornillos, cigüeñales y otras piezas vitales de máquinas metálicas, con tolerancias sólo de diez milésimas de pulgada, que es lo requerido por la moderna producción en masa.

El camino para llegar a esto quedó desbrozado cuando los torneros de los talleres de las iglesias y monasterios en el siglo XII adaptaron el mecanismo de la percha elástica a sus tornos y lo conectaron a un pedal. El enlace mecánico de la percha y el pedal permitió al tornero hacer girar por sí sola a la pieza y coordinar su acción con la de la herramienta de corte.

Un nuevo papel para lo manivela

La tecnología de la Edad Media, muy menospreciada por cierto, también produjo un importante desarrollo en el elemento fundamental que todos conocemos por la manivela, primeramente representada en el Salterio de Utrecht del siglo IX como medio de hacer girar una piedra de afilar.



UN CASO DE FUERZA MOTRIZ. Según se describe en la enciclopedia del siglo XVIII del filósofo francés Denis Diderot, el aparato de fundición ilustrado arriba, tenía un elemento básico de máquina que se remontaba al tiempo de los griegos: la rueda y el eje de levas. Como el eje (derecha) giraba por medio de una rueda hidráulica producía la rotación de las levas que tropezaban con los mangos de los martillos, convirtiendo el movimiento rotativo de la rueda en el de sube y baja.

Los ingenieros se enfrentaron con el problema de utilizar una manivela para convertir el movimiento de rotación del molino de viento o rueda hidráulica en un ciclo continuo y recíproco movido por fuerza que pudiera hacer funcionar una bomba o un pistón dentro de un cilindro un día completo. Es curioso que pudiera haber sido el berbiquí del carpintero, la herramienta manual que se usa todavía hoy para taladrar agujeros, el que haya inspirado la solución. Alguien habrá escuadrado las curvas del berbiquí, enlazado el extremo de una varilla a su alrededor, y de esta forma inventado un elemento clave del automóvil, del vuelo a motor y de una docena de funciones más en las máquinas modernas: el cigüeñal y la biela. No obstante, aun cuando tales ingenios descargaron al hombre de faenas tan pesadas y desagradables, aparecieron máquinas complicadas menos esperanzadoras.

Una fue el cañón, el mecanismo más destructivo que se ha inventado jamás, y precursor de generaciones enteras de armas, tanto grandes como pequeñas y cada vez más mortíferas: bombardas para plazas sitiadas, ribadoquines de disparo

múltiple, el mosquete de llave, el fusil de pedernal cargado por la boca, la pistola de caballería («*wheel lock*»).

El cañón hizo su aparición en la escena europea, se cree, sobre los primeros años del 1300, no mucho después de la introducción de la pólvora negra china. Los primeros prototipos estaban hechos a mano. Endemoniadamente pequeños y rechonchos, pesaban unas 40 libras o quizá menos, se extendieron rápidamente.

Eduardo III de Inglaterra cañoneó Calais cuando puso sitio a la ciudad en 1346. La industria de armamentos empezó su rápida carrera ascendente. En el transcurso de un siglo los fabricantes de armas estaban construyendo cañones de 400 y 600 libras con largas barras de hierro forjado; soldaban las barras una a otra en sentido longitudinal utilizando un alma y las reforzaban con aros de hierro.

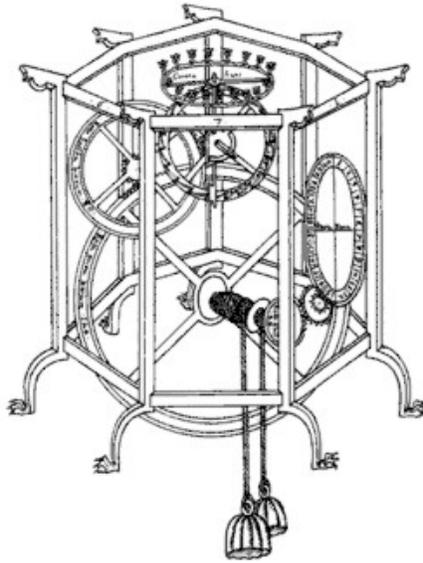
Desaparición de la lanza y el lirio

Las armas de fuego dieron a las contiendas un nuevo cariz feo e impersonal. Una cosa era ver una piedra de 60 libras que viene describiendo una lenta parábola sobre las paredes del castillo, procedente de un oscilante trabuquete, el lanza proyectiles de aquel tiempo, situado al otro lado del foso, y otra completamente distinta sentir temblar la tierra, oír el lejano rugir de las bombardas de bronce o hierro forjado, y verles después machacar las paredes aparentemente indestructibles. Las primitivas batallas habían sido con frecuencia escaramuzas caballerescas de lanzas sobre campos de honor cubiertos de lirios. Ahora los ejércitos buscaban la destrucción total y hasta atacaban los poblados urbanos.

Con efectos menores de los que habían de alcanzar los armamentos, dos invenciones más de la Edad Media habían de hacer un impacto no menos profundo sobre la humanidad: el reloj mecánico y la imprenta.

El desarrollo de los mecanismos de relojería trajo conocimientos prácticos preciosos sobre las ruedas dentadas, de cómo engranarlas, cómo controlar un peso que cae, cómo regular el retroceso de un delicado muelle.

Se debe a esta competencia, obtenida laboriosamente, el que unos logros científicos tan notables como los estudios sobre el péndulo de Galileo y Huygens, los cronómetros marítimos para determinar la longitud, y toda clase de instrumentos de precisión, hayan podido tener lugar.



UN RELOJ «FÁCIL» DE CONSTRUIR. Estos son los elementos móviles de un reloj del siglo XIV que se tardó 16 años en construir. Registraba los movimientos de los cuerpos celestes así como marcaba las horas. Su constructor fue un médico florentino, Giovanni Dondi, quien publicó los detalles de su construcción y afirmó altivamente que si el estudiante del manuscrito no puede fabricarse este reloj, está perdiendo el tiempo al seguir estudiando el manuscrito.

Pero el reloj mecánico afectó el matiz de los hábitos personales también. Al hacer sonar indefectiblemente cada hora que pasaba, agujoneaba al hombre para moverse y proseguir el trabajo del mundo, dándole un sentido de urgencia.

Quién inventó el reloj mecánico, dónde y cuándo, no se sabe. Pero el desarrollo de su principio básico, a la luz del conocimiento contemporáneo, fue una obra de brillantez sin par. El razonamiento del inventor puede ser que fuera algo así: Si anudo un peso a una cuerda y paso la cuerda cierto número de veces alrededor de un cilindro corto o barril que gire libremente; si elevo este mecanismo en una estructura o torre y regulo el descenso del peso para que vaya bajando paulatinamente hacia el suelo entre la salida y la puesta del sol, desenrollando la cuerda y haciendo girar el barril durante el descenso; si consigo todo esto, entonces, por medio de una rueda dentada al extremo del barril, y otras ruedas engranadas a la misma, el movimiento del peso puede registrarse por medio de un indicador adecuado, que gire alrededor de una esfera durante las horas del día.

Éxito en la torre de uno capilla

La primera referencia histórica cierta, respecto a un reloj mecánico, es la del construido en la torre de la capilla del Palacio Visconti en Milán en 1335. Es posible que se hayan construido 30 durante los 35 años siguientes.



UN RELOJ PROPIO PARA UN REY. Este intrincado reloj de agua oriental fue construido por un sultán del siglo XIII, Nasir od-Din Mahmud. Cada medio hora, el pájaro en la parte alto silbaba y el conductor del elefante tocaba retreta con el palillo de tambor. Simultáneamente el hombre de la ventana hacía que el halcón soltara un perdigón, el cual daba contra un gong del elefante y caía en una taza. El sultán podía sumar las horas que pasaban, contando los perdigones.

Todos eran grandes relojes públicos cuyos engranajes fueron trabajosamente limados a mano; todos ellos eran movidos por pesas. El problema de restringir la caída de un peso descendente fue al principio solventado por un procedimiento ingenioso conocido por el escape de eje de áncora. Un elemento clave era la rueda «corona» con dientes de sierra, y llamada así por su parecido a una corona real; iba impulsada por una serie de ruedas accionadas por el tiro del peso. Al otro lado del

eje de la rueda corona había una barra de metal conocida por el eje de áncora, tomado del latín *virga*; sujetas a cada extremo de esta barra, donde tocaba el perímetro de la rueda, arriba y abajo, había dos pequeñas planchas de metal o paletas. Al girar la rueda corona, el áncora se movía hacia adelante y atrás, enganchando las paletas, y después soltando, un diente cada vez, en lados opuestos de la rueda, y de esta forma permitiéndoles escapar.

La velocidad de progresión de la rueda, por la caída del peso, fue regulada por un brazo balancín con peso llamado «*foliot*» oscilando adelante y atrás sobre el eje de áncora.

Lo mismo que con el reloj, la invención de la imprenta no puede acreditarse a un solo hombre, un país, un año. Fue un asombroso conjunto de triunfos distantes y ganados a pulso: la fabricación del papel, que dio principio en la China del siglo primero; el desarrollo de la tinta a base de aceite, que se retrasó hasta los experimentos de los artistas flamencos del siglo XV, que hirvieron aceite de linaza como base de pintura y barniz; el conocimiento adquirido de imprimir con bloques de madera tallados, utilizados en la Europa medieval para hacer grabados religiosos y cartas de baraja; el concepto del tipo de metal, fundido individualmente en moldes, que se llevó a cabo primero en Corea a fines del siglo XIV; el arte desarrollado por los orfebres alemanes de tallar troqueles de metal o de duro acero que dejaban la impresión de una letra del alfabeto si se les martillaba contra un metal más blando; la adaptación de la prensa de tornillo, que era familiar a Herón en la antigüedad y hoy utilizada para escurrir la ropa y prensar las uvas.

En los estudios de los artesanos de Renania, en las imprentas de grabados con madera de Haarlem y Maguncia, los hombres, poco a poco, reunieron los materiales y artes que de pronto, en la década del 1440, llegaron a una especie de fulgor que los fundió en la máquina más poderosa que jamás se había ideado. «*Con mis veintiséis soldados de metal, alardeaba uno de los primeros impresores franceses, he conquistado el mundo.*»

El hecho aceptado comúnmente como el principio de la impresión organizada tuvo lugar un día en una imprenta de Renania, no más allá del año 1448, cuando una simple prensa de mano produjo sobre papel, con tipos móviles, un poema titulado *Juicio del Mundo* y un calendario astronómico. Se sabe que un hombre, Johann

Gutenberg, tuvo que ver con esta operación, y probablemente también Johann Fust junto con su yerno, Peter Schoeffer.

El triunfo de Gutenberg fue la señal para el principio de otras cosas predestinadas. Una de ellas fue la producción en masa. Alrededor de 1400 un noble italiano había contratado a 45 escribanos para copiar a mano una serie de manuscritos para su biblioteca particular. En dos laboriosos años produjeron 200 volúmenes. Medio siglo más tarde un solo impresor de oficio en la imprenta de Gutenberg podía producir 300 páginas en un día.

Al salir de la prensa, una tras de otra, las páginas impresas, fueron los primeros artículos estandarizados producidos en serie por el hombre. Los tipos móviles, además, representaban todavía otro rasgo original en la tecnología de producción en masa: piezas utilizables de nuevo.

Los hombres en todas partes ansiaban el intercambio de ideas, la comunicación entre las mentes, desafiando al espacio, y la imprenta, cual Prometeo, lo hizo posible en un solo golpe. Allá por el 1500 los talleres en 14 países europeos habían producido más de ocho millones de libros. Un centenar de años más tarde, poco más o menos, la imprenta había llegado al Nuevo Mundo.

Visiones de un perfeccionista

Pero el logro trascendental de la Edad Media fue la mente de un hombre: Leonardo da Vinci. El que pintó la perfección en La Última Cena, demostró un genio igualmente brillante en los dibujos mecánicos. Muchos de sus conceptos en hidráulica, anatomía, óptica, física, armamento e ingeniería militar, estaban generaciones por delante de su tiempo. En el diseño de máquinas de todas clases, y al delinear principios de maquinaria, era único e inigualable.

Lo que abarcaba era fantástico:

- Un coche acorazado movido desde el interior por medio de manivelas.
- Un *clotonbrot*, primer proyectil moderno a gas, lleno de pólvora, sulfuro y balas de hierro. «La máquina más mortífera que existe, hizo notar. La bala del centro estalla y dispersa las demás, a las que prende fuego en un espacio de tiempo menor que rezar un Avemaría.»

- Una máquina volante hecha de madera o junco y tela, con graciosas alas de murciélago, que el piloto manipularía con manivelas y muelles. Según dijo Leonardo, en su primer vuelo se elevaría en el Monte Ceceri, cerca de Fiesole, trayendo gloria eterna a su lugar de nacimiento.
- Un reloj despertador para despertar al durmiente por medio de una palanca que levanta sus pies.
- Un traje de buzo que permitiría a un hombre permanecer bajo el agua durante cuatro horas. Excavadoras mecánicas para canales. Mecanismos de rueda, engranaje y trinquete para convertir el movimiento recíproco en rotativo. Un telar de fuerza, «...segundo en importancia solamente a la imprenta, escribió Leonardo; un invento sutil, hermoso y lucrativo».

En la multitud de notas y dibujos que dejó, muchos representan informes del trabajo de otros. De los que son puramente Leonardo, muchos son fragmentos inacabados, y nunca, en su tiempo, llegaron a materializarse en maquinaria.

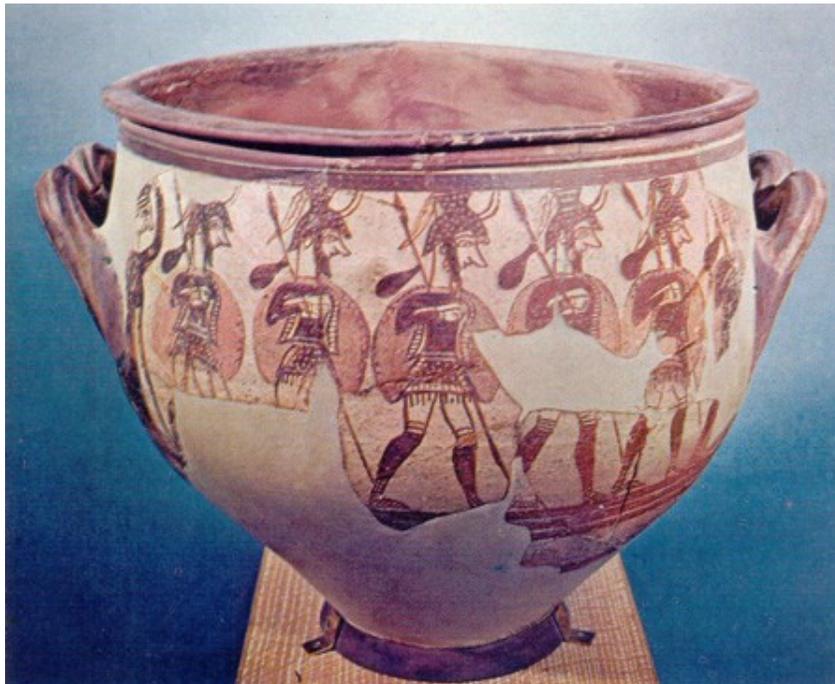


UN ANTIGUO. TRANSPORTE DE PROYECTILES. Un lancero de Ur, una ciudad sumeria, al norte del Golfo Pérsico, entra en batalla con su conductor en un carro de cuatro ruedas, tirado por asnos. Cada una de las ruedas de madera, consiste en dos discos semicirculares unidos al cubo por un macho. En el grabado superior, los infantes con sus lanzas, marchan a la batalla llevando cascos protectores de cobre y capas hasta los tobillos.

Aun así, son un legado de inspiración, pues este hombre sin par trajo algo nuevo al mundo: imaginación en la ingeniería y en la invención. Él atisbó milagros futuros, maravillosas máquinas del porvenir, comprendiéndolas desde lejos. El futuro que él presintió es nuestro presente.

Las armas, desde la honda hasta la pólvora

A través de la historia, el hombre ha utilizado máquinas cada vez más complejas para sus batallas. Una vez, alrededor del siglo X a.C. «... David metió la mano en su bolsa y sacó de ella una piedra, la tiró con la honda y mató al filisteo. ». Así, pues, en la Biblia, en I. Samuel 17:49, tenemos la crónica de una de las primeras veces que se utilizó una máquina para matar al hombre. David empleó la palanca para tumbar al gigante Goliat.

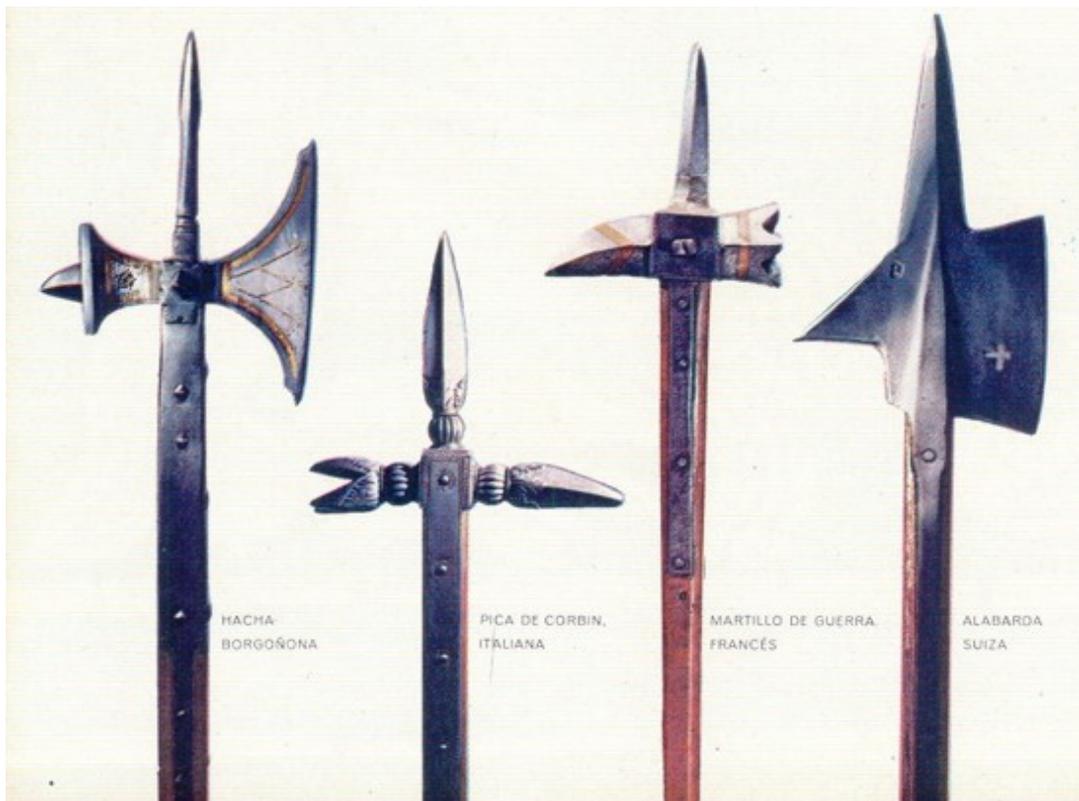


UNA FALANGE DE LANZAS MORTÍFERAS. Primitivos infantes griegos avanzan a la batalla llevando lanzas en esta escena de un vaso guerrero de Micenas. Estos lanceros defendían una civilización que floreció entre 1600 y 1100 a.C. Mucho antes de los tiempos de Grecia, la lanza, un palo largo con la punta endurecida a fuego, fue utilizada por los hombres para la guerra y la caza.

Las máquinas de combate dan una ventaja al hombre o ejército que las utiliza. Pero pronto el enemigo tiene también máquinas. En el cuarto milenio a.C. algún inventor desconocido montó ruedas primitivas bajo una plataforma y el campo de batalla cambió para siempre. La cuña, el ariete, torsión y tensión, se convirtieron en piezas de eficaces máquinas de guerra que gobernaron los campos de batalla durante siglos, hasta que finalmente la pólvora tomó las riendas.

Cuña y palanca, equipo mortífero para la batalla

Los principios de la cuña y la palanca aplicados a las máquinas de guerra produjeron un terrible conjunto de armas. Al principio, en la Edad de Piedra, el hombre luchaba con el hacha y la lanza. Descantillando la piedra, estos hombres produjeron el hacha de mano, una especie de cuña. Cuando la unieron a un mango, combinaron la ventaja de la cuña con la de la palanca.



ARMAS PARA EXTENDER EL BRAZO. La primera vez que utilizaron la alabarda (abajo, derecha), los suizos comprobaron en 1315, en la batalla de Morgarten, que ni siquiera los caballeros de Austria podían hacerles frente. Estas armas fueron empuñadas durante siglos. En la última batalla ganada con hachas, el Marqués de Montrose derrotó a los covenantarios en Tippermuir, Escocia, en 1644.

En forma parecida, las lanzas del hombre primitivo utilizaron el brazo humano como palanca para impulsar la cuña, la misma lanza. Miles de años después, alrededor de 3000 antes de Jesucristo, el hombre descubrió el bronce y encontró que este nuevo

metal podía afilarse y convertirse de una cuña separadora, en una espada de corte extraordinariamente afilada.



CHOQUE DE FUERZAS MONTADAS. En el manuscrito heráldico llamado «The Military Roll», de alrededor del 1480, aparece el choque de los caballeros en justas. Cuando el primer noble equipado con lanza se encaramó a horcajadas de su montura, sin saberlo añadió una fuerza considerable a su arma: el peso del caballo y la velocidad del mismo aumentaron lo eficacia de su lanza diez veces más.

De la piedra al bronce y al hierro, los principios básicos fueron los mismos, pero la ingeniosidad contribuyó a un sinfín de refinamientos. El hacha de los vikingos, con un filo cortante que tenía hasta 30 centímetros, era el prototipo del hacha, arma que pronto fue adoptada y modificada por cada uno de los ejércitos que combatían en Europa (abajo, izquierda).

Todas estas combinaciones de cuña-palanca para la guerra, eran armas personales, utilizadas por individuo contra individuo. Su utilización trajo el desarrollo de la armadura individual. Desde los días tempranos de Grecia, hasta los días de la caballería en la Edad Media, los guerreros llevaban a la batalla cargas muy pesadas. Armado y montado, un caballero era una máquina terriblemente poderosa.

El ariete machacador: una máquina nueva para allanar ciudades

En la historia del hombre, éste levantó murallas alrededor de los establecimientos, para protegerse de los merodeadores.



DEVASTACIÓN SOBRE RUEDAS. Una torre de combate asiria, con su saliente ariete machacando las paredes del enemigo, obliga a rendirse al jefe defensor (figura sobre la muralla con la mano levantada). El rey atacante (lejos, a la izquierda) dispara desde detrás de la torre. Relieve del siglo IX a.C.

Dos de las máquinas más efectivas para romper y atravesar una muralla defensiva eran el ariete machacador y el taladro. El ariete era simplemente un enorme tronco de árbol con una cabeza achatada de metal en la punta; llevado por los hombres o bien colgando sobre cuerdas como un péndulo, el ariete las machacaba

repetidamente. El taladro, un ingenio parecido con una afilada punta, escudriñaba en las juntas débiles de la mampostería.



FUERZA AL DESCUBIERTO Y A PIE. Los tribeños de Dacia machacan una posición romana en esta escena de la columna de Trajano, alrededor del año 110. Su ariete, adornado con una cabeza de carnero, es un anacronismo. El ariete de mano yo había sido reemplazado por otros tipos más efectivos.

El ariete a veces se incorporaba a otra máquina terrorífica, la torre. Construida de madera en el lugar del sitio, este enorme ingenio a veces alcanzaba la altura de 20 pisos (el ingeniero-arquitecto romano Vitrubio, del siglo I, describía las torres pequeñas como de 30 metros de altura; las grandes, el doble). En el interior de sus

paredes acorazadas con tablas y pieles de animales, las torres tenían muchos niveles con escaleras de comunicación, plataformas, un formidable ariete machacador en la base y un equipo de arqueros y de soldados tira-piedras en la cumbre.

Fuerza almacenada para las máquinas de guerra de artillería

Alrededor de 400 a.C. los griegos pusieron en acción las fuerzas de torsión y tensión en las máquinas de guerra.



UTILIDAD QUIMÉRICA DEL CONTRAPESO. Un artillero bíblico, hace bajar la honda de un trabuquete antes de lanzar la piedra contra el fuerte del enemigo. Esta ilustración del siglo XIII retrata una batalla del Antiguo Testamento pero en términos contemporáneos. Después de sujetar la honda, se cargaban con pesos las cuerdas a la derecha del pivote. Al soltar la honda los pesos lanzaban la piedra.

Durante otros 1.500 años no se utilizó todavía otra fuente de energía, el contrapeso. (La torsión es la fuerza de retorcer la cinta de goma que impulsa una maqueta de avión; la tensión es la fuerza de la misma goma que propulsa la acción del tiratacos. Contrapeso es el pie del padre equilibrando a un niño en un columpio.) Las máquinas de guerra creaban y almacenaban energía, para soltarla de una andanada.

En máquinas de torsión como el onagro (abajo) la palanca se estiraba hacia atrás contra la resistencia de cuerda, tripa o pelo fuertemente torcidos. Al soltar, la palanca podía lanzar rocas de 50 libras a 400 metros de distancia. Esta artillería se usó hasta el siglo XII en que se inventó el trabuquete de contrapeso.



El onagro lanzaba atrás al dispararse.

La tensión de un arco proporciona una mortífera puntería

Así como las fuerzas de torsión y contrapeso contribuyeron a la destructividad del armamento, así la fuerza por tensión añadió al arsenal del guerrero otro grupo de máquinas extraordinariamente precisas.

La primera de las máquinas de tensión probablemente fue una ballesta, o inmenso arco. Es probable que los primeros hayan sido fabricados en Siracusa en el año 400 a.C. para un tirano griego que se hizo experto en poner sitio a plazas, en las

guerras con Cartago. Es posible que parecieran versiones primitivas de la máquina de arriba, del siglo XVI.



LA BALLESTA DE CELLINI. Un arco del siglo XVI, falso e inexplicablemente atribuido al orfebre y escultor Benvenuto Cellini, se encuentra en el patio del Castillo de San Angela en Roma. De punta a punta, el arco mide poco más de siete metros. La ballesta está hecha con madera de castaño y hierro, con una cuerda de tripa. Su alcance era probablemente de unos 200 metros escasos.

Uno de los problemas con que se tropezaba el inventor de la ballesta era que no tenía metales buenos para forjar el arco; probablemente utilizaba una combinación de madera, asta y tripa para conseguir la máxima fuerza y muelle.

La ballesta consiguió gran exactitud debido a un canal en la cureña que equivalía al cañón de un fusil.

La ballesta de mano tuvo un papel importantísimo en las campañas de la Edad Media. Su efectividad se debía a que permitía al arquero utilizar un arco más fuerte que el que podía tensar sólo con sus brazos. El arquero sostenía el arco contra el suelo con un pie, se arrodillaba y enganchaba la cuerda del arco en un gancho en su cinturón. Al incorporarse, ponía la cuerda en posición. En el siglo XIV se introdujeron los arcos de acero que no podían ponerse en tensión más que por medio de un dispositivo como un molinete.



UN VEHÍCULO PARA DESFILES. Un carro etrusco de ceremonias que data del siglo VI es una restauración única, propiedad del Museo Metropolitano de Arte de Nueva York. Se utilizaba para hacer desfilar a los dignatarios y héroes ante el populacho en forma muy parecida a como se conduce a los héroes de los tiempos actuales en coches descapotables ante las multitudes admiradoras.



UN CARRO DE BATALLA. El rey Tutenkhaman de Egipto a la carga contra los nublos, alrededor de 1350 a.C. Los carros egipcios estaban diseñados para una fuerza de ataque rápido, con una estructura de madera muy ligera y los costados de lona o cuero. Las ruedas estaban colocados muy separadas. El arco del rey puede compararse con ventaja con los arcos ingleses del siglo XVI.



IDEA MORTÍFERA DE LEONARDO. El genio de Leonardo da Vinci por mejorar las ideas de otros queda demostrado en este depravado carro guadañador del siglo XV. Otros modelos menos eficaces hablan estado en uso desde 2000 años antes. Leonardo diseñó un tanque que llevaba cañones cargados por la culata, un cañón de vapor, una máquina voladora, la granada con metralla y una ametralladora.

El remo y la vela: fuerza motriz para las máquinas de guerra flotantes

Casi tan pronto como aprendió a caminar derecho sobre las piernas, el hombre aprendió a propulsarse con una percha cuando iba sobre un madero flotante, convirtió aquella en una paleta y finalmente en un remo. Alrededor del año 3000 antes de Jesucristo algún genio inventor que vivía al extremo oriental del Mediterráneo aparejó una vela en su embarcación. Encauzó una fuente de energía para las máquinas de guerra marítimas que mandaron en el mar durante 49 siglos. Al transportar tropas y material por los mares, el viento se convirtió en el aliado de cada una de las principales naciones marítimas.

Mientras la vela transportaba tropas y provisiones con incontestable eficacia, el remo mantenía la supremacía en combates a corta distancia, cuando el viento era variable.



Una galera con los remos calados y la vela izada envuelve a un buque enemigo con el «fuego griego» del tubo de proa. Este manuscrito bizantino usa una taquigrafía gráfica para la crónica de la batalla; los buques con lanzallamas tenían una dotación de 150 marineros.

Las galeras armadas con arietes y movidas por 50 remos o más, eran mortíferas en batalla. Las galeras utilizaban el viento con frecuencia para llegar hasta el enemigo, pero arriaban las velas para la lucha. Una de las mejores era el trirreme griego, una embarcación con tres hileras de remos.



UNA OPERACIÓN ANFIBIA. Una fuerza atacante de caballeros cristianos y mercenarios genoveses se hace a la mar en 1390 para castigar a los piratas berberiscos y propagar la fe. El comandante Luis de Borbón es conducido a su buque, a remo (abajo, izquierda). Esta expedición no tomó parte en muchos combates pero varios caballeros murieron abrasados por el ardiente sol africano.

Allá por el siglo III antes de Jesucristo las galeras de hileras múltiples eran los buques de línea de la mayor parte de las flotas del Mediterráneo. Los romanos las dotaron de una pasarela portátil para abordar a los buques enemigos.

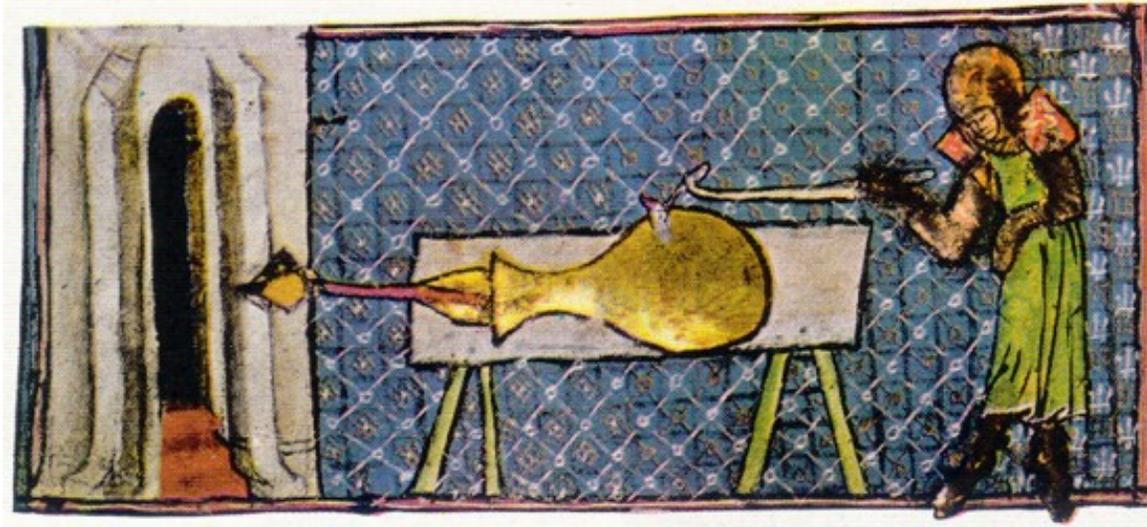
Otra de las armas que añadió el terror a la eficacia de los buques de guerra fue el "fuego griego", que, al parecer, hizo su aparición alrededor del año 673 de la Era Cristiana, cuando Constantino Pogonato lo empleó para defender su capital del sitio de los sarracenos. Los emperadores bizantinos conservaron siempre en secreto la fórmula de la mezcla.

El rugir del cañón: signo de extensas guerras impersonales.

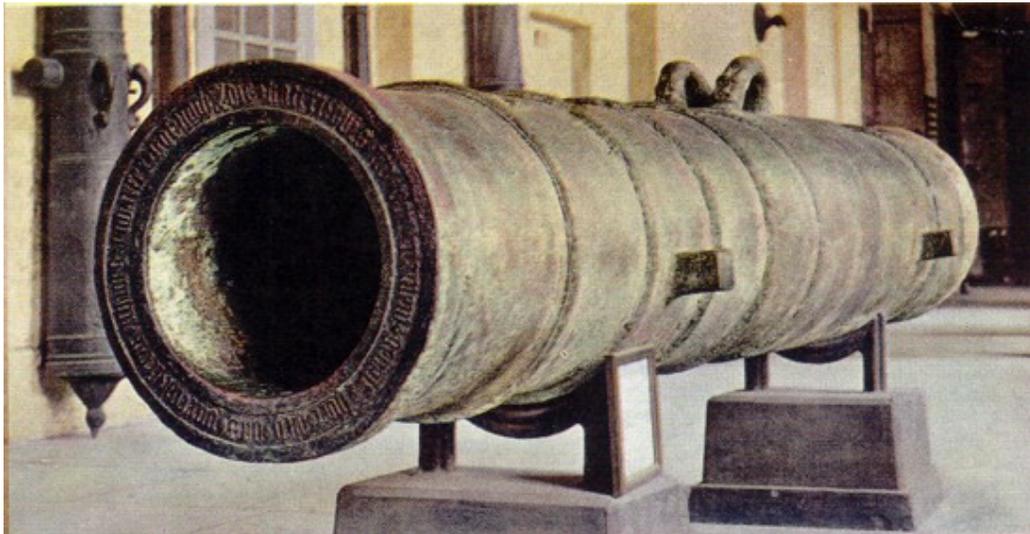
Al principio del siglo XIV fue disparado un cañón en batalla por primera vez, probablemente por los ingleses en un encuentro con los escoceses en Weardale en 1327. Aunque muchos ejércitos se resistieron al uso del cañón durante 200 años después, tuvieron por fin que cambiar o morir.

Los primeros cañones parecían jarrones, lo que se refleja en sus nombres, *vasii* y *pots-de-fer*. Muy pronto aparecieron los cañones de formas más modernas y en el siglo XV se construían enormes cañones de sitio.

Fue también en el siglo XV cuando la enorme fuerza de los gases pudo controlarse lo suficiente para hacer posible los cañones de mano. El primero fue el arcabuz. Su introducción significó el fin de una era en el arte de la guerra, en la cual una muchedumbre humana armada de picas, o caballeros aristocráticos a caballo, dominaban en el campo de batalla.



Primer dibujo de un cañón, año 1326, para el futuro rey Eduardo III de Inglaterra



PODEROSO PERO TOSCO. Este cañón de 4 metros de largo muestra una tendencia temprana hacia la construcción de cañones cada vez mayores. Fue encontrado en Rudas pero construido en el Continente, como demuestra la inscripción alemana: «Mi nombre es Catalina. Cuidado con mi contenido. Castigo la injusticia. George Endorfer me fundió. Sigismund, Archiduque de Austria, año 1404».

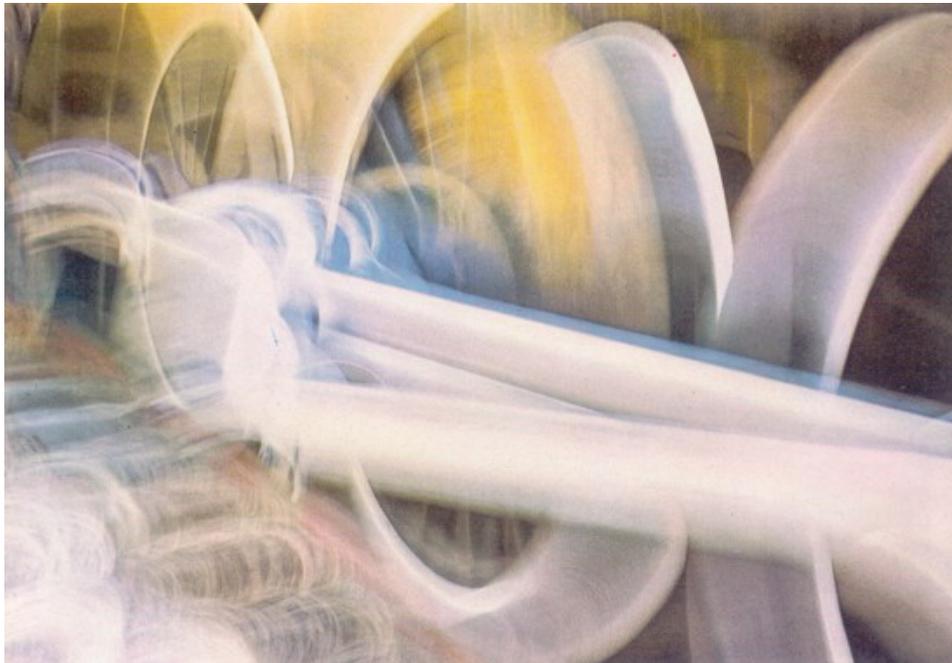


DESGARBADO PERO ÚTIL. Luis de Borbón pone sitio a una ciudad durante una campaña contra los piratas berberiscos en el año 1390. Aunque los invasores tenían cañones, los infantes todavía están representados utilizando ballestas en vez de fusiles, que no llegaron a ser armas corrientes hasta bien entrado el siglo XVI.

Capítulo 3

La Revolución Fomentada por el Simple Vapor

EN 1685 sir Samuel Morland, maestro mecánico del rey Carlos II, presentó a la inspección real un informe sobre una intrigante y posiblemente valiosa reacción del agua al calor. «Al ser evaporada el agua por el fuego, escribía, los vapores precisan un espacio mucho mayor, unas 2.000 veces el ocupado por el agua. Y antes que someterse a estar encerrados harían estallar una pieza de artillería.



SIMBOLO DE UNA ERA. La locomotora de vapor (ruedas motrices, arriba), suplantado ahora mayormente por las diesel, proporcionó un símbolo nostálgico cada vez más acusado de una época que se aleja. Reina de las máquinas durante unos doscientos años, proporcionaba fuerza motriz para el transporte y para la industria, y tuvo un importante papel en la Revolución Industrial.

Sin embargo, bajo control, soportan la carga pacíficamente, como buenos caballos, y así pueden ser de gran utilidad para la humanidad...»

Estas fueron palabras proféticas presagiando la máquina de vapor; y también presagiando en una nación todavía por nacer las locomotoras de mercancías con chimeneas esféricas trepidando por los cañones arriba en la Sierra por encima de

Sacramento, trituradores de mineral movidos por vapor, atronando la ciudad de Virginia, las sirenas de las fábricas chillando sobre Gastonia, los silbatos de los trenes sonando por el valle del Hudson abajo, los barcos de ruedas en los costados pidiendo lugar de desembarco con sus sirenas, todo suena como un destino manifiesto, de una audaz y joven América, que nunca hubiera podido tener lugar sin la máquina llamada de vapor y sus millones de buenos y pacíficos caballos.

Muchos de nosotros tenemos la impresión que la era del vapor empezó con el adolescente James Watt. Le vemos pensativo en la cocina, contemplando un chorro de vapor que hace levantar la tapa de la hirviente tetera de su madre.

Queda perplejo un rato, y de repente grita: «Ya lo tengo». Aquella misma noche construye su primera máquina de vapor.

La historia, sea para bien o para mal, es pocas veces tan sencilla como la leyenda, y concede los honores de la tecnología del vapor a gente anterior. Está Herón de Alejandría, cuyo *aeolipile* fue el primer artefacto conocido movido por vapor. Luego vino la época de los descubrimientos del siglo XVII de DeCaus, Galileo y Torricelli. Entre ellos establecieron los hechos resumidos en el informe de sir Samuel:

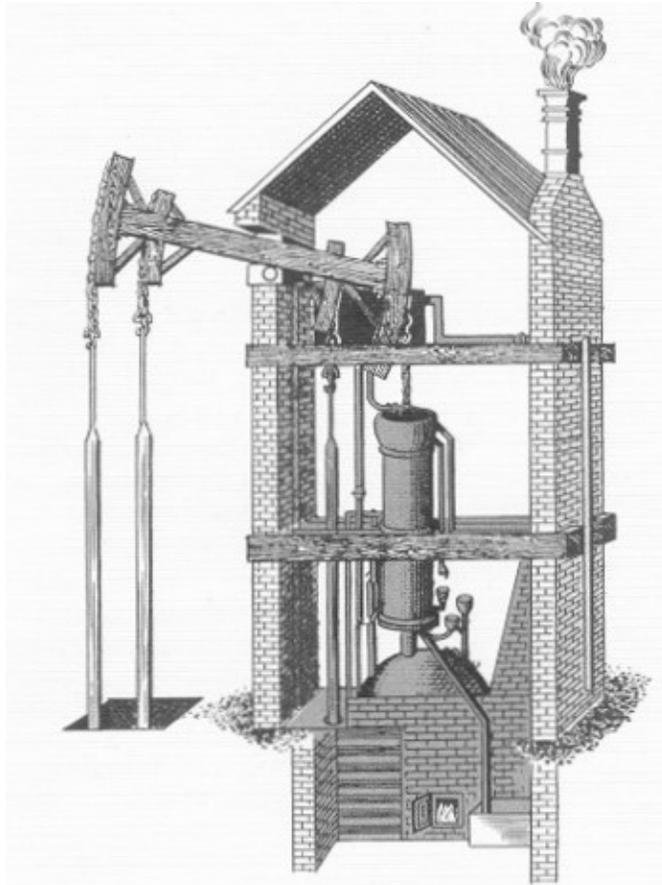
1. el agua, al evaporarse, se convierte en vapor;
2. el vapor se expande, un litro de agua, al hervir, se convertirá en 1,700 litros de vapor
3. hay una fuerza bruta, a veces terrorífica, en esta expansión; lo mismo que eleva la tapa de una tetera, puede volar una caldera e incluso un cañón de hierro que trate de encerrarlo;
4. cuando el vapor se enfría, se condensa, es decir, revierte a su estado original de agua;
5. si este proceso tiene lugar en un recipiente cerrado, produce el vacío en el recipiente.

En Inglaterra, el vacío creado por condensación prendió en la imaginación de la gente práctica. Había muchas minas que, debido a la cantidad de agua en el subsuelo, tenían que ser achicadas por bombas movidas por caballos a un precio casi prohibitivo. En vez de esto, supongamos que un recipiente fuera colocado en el interior de la mina y que se creara el vacío en el recipiente por condensación de

vapor. ¿No llenaría el vacío la presión atmosférica, el peso del aire fuera del recipiente, con el agua que se estaba bombeando al exterior con tanto gasto? La primera bomba a vapor que intentó esta operación se le acredita al capitán Thomas Savery, un ingeniero militar. El aparato Savery, ideado alrededor de 1698 y llamado el «amigo del minero», tenía un tanque en forma de óvalo alargado, quizá del tamaño de un barril, y se llenaba de vapor procedente de una caldera. Al abrir una válvula penetraba agua fría en el tanque. El vapor se condensaba y formaba un vacío parcial en el tanque. El agua del fondo del sumidero de la mina se lanzaba hacia el tanque a través de un tubo para llenar el vacío. Este ciclo podía repetirse cinco veces por minuto.

Los peligros de un amigo

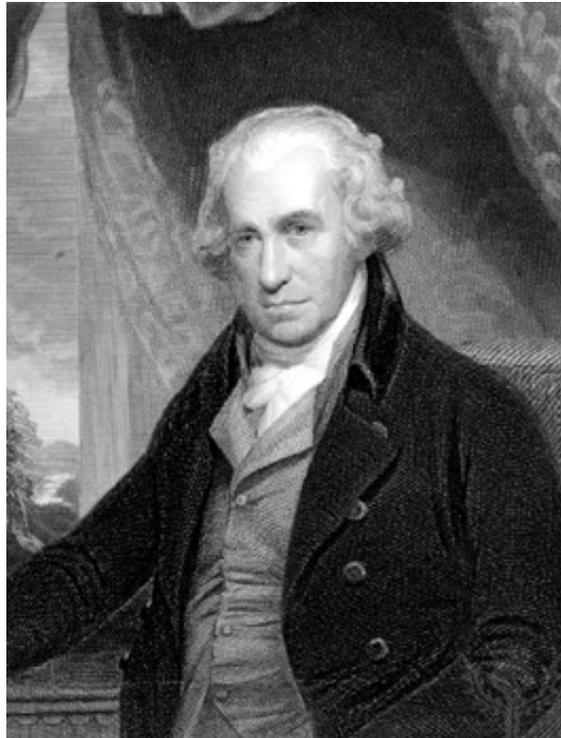
A pesar de su nombre, el «amigo del minero» demostró que no era una solución muy eficaz al problema de la inundación de minas. La presión atmosférica solamente no puede elevar una columna de agua más de unos 11 metros; así pues, el artefacto de Savery tenía que estar situado en una galería a una altura no mayor que ésta sobre el fondo del pozo. El trabajar cerca del fuego y del vapor en los subterráneos era peligroso.



VORAZ CONSUMIDOR DE CARBÓN. *La máquina de calor de Thomas Newcomen, (siglo XVIII), utilizaba el vapor para mover un pistón. Éste a su vez movía una gigantesca viga-balancín, que achicaba el agua de los minas de estaño de Cornualles. Como la máquina necesitaba grandes cantidades de carbón, perdió importancia ante la máquina de vapor de Watt, más eficiente. Pero Newcomen tiene en su haber el primer dispositivo de control automático eficaz.*

El potencial del vapor también había fascinado a un físico francés, Denis Papin, que se dedicó a él e inventó el precursor de la olla a presión, y para evitar que estallara, inventó la primera válvula de seguridad. Pero, sea cual fuere su situación en los círculos culinarios, la principal distinción de Papin en los anales del vapor fue conseguida de otra forma. En 1690 dio con la brillante idea de sintetizar el vacío creado por el vapor y un mecanismo de pistón y cilindro, haciendo que el vapor moviese el pistón. El resultado fue la primera máquina auténtica movida por calor.

EL DOMADOR DE LA FUERZA BRUTA DEL AGUA HIRVIENTE

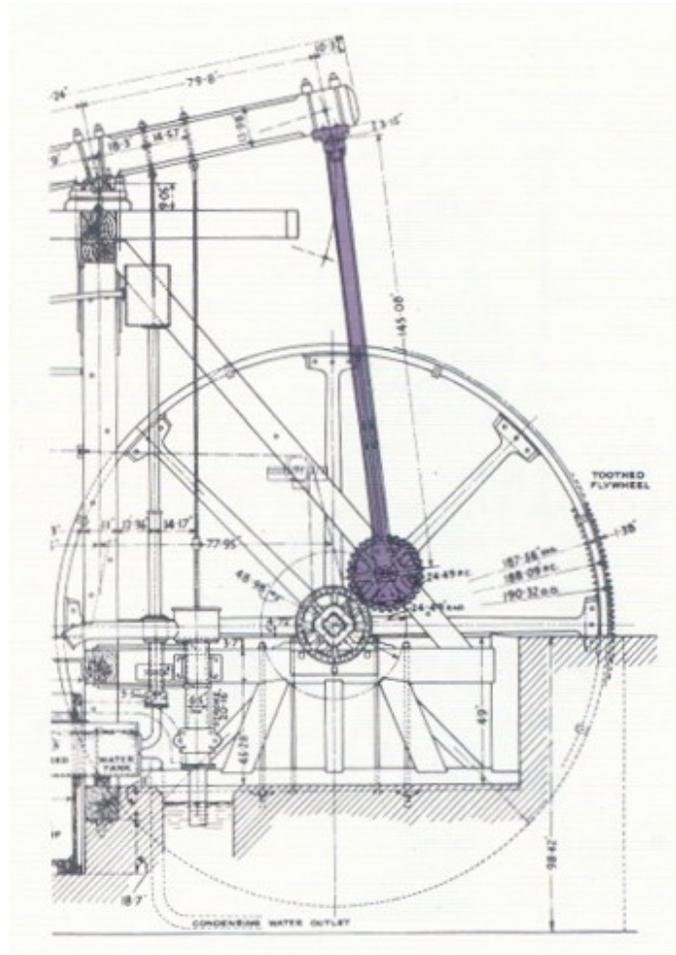


UN INVENTOR DEMASIADO MODESTO. Aunque no fue el creador de la máquina de vapor, a James Watt se deben muchos de los dispositivos que lo convirtieron en un éxito resonante. Un catedrático de Glasgow le alabó por su copiosidad de invención. Watt, recatado, dijo: "No soy tan rápido como muchos..."

Era la sencillez personificada: un tubo vertical de 6,5 cm de diámetro, equipado con pistón y biela, con un poco de agua en el delgado piso del tubo. Papin calentó el agua; el vapor que se formó empujó el pistón y lo elevó hasta la parte superior del tubo. Allí Papin lo sujetó con una especie de uña, dejando que el tubo se enfriara: el vapor se condensó y formó el habitual vacío. Papin soltó la uña; la presión atmosférica hizo descender el pistón a su posición original. Esto fue, en esencia, la forma en que funcionó la máquina de vapor durante cerca de un siglo hasta que James Watt empezó a utilizar la fuerza expansiva del vapor para impeler el pistón en su recorrido de retorno.

Entretanto, en 1712, un joven herrero de Dartmouth, Thomas Newcomen, inventó una nueva máquina calórica, que, al contrario de la de Papin, podía ponerse en funcionamiento, y respondía a la absoluta y cada vez mayor necesidad de achicar los profundos pozos de las minas. Un factor clave de la misma era una sólida viga atravesada, como el brazo de una balanza. En un extremo pendía una verga de

bomba unida a un émbolo que estaba abajo en la mina; en el otro extremo estaba el mecanismo de pistón y cilindro.



UN SOL Y SU PLANETA. La máquina de vapor adquirió una multitud de nuevos usos, como la propulsión de molinos y tornos, cuando el movimiento de arriba-abajo se convirtió en movimiento rotativo. El primer dispositivo de conversión, se debe a Watt, «un engranaje de sol y planeta» consistente en dos ruedas dentadas engranadas. Cuando la viga-balancín (arriba) movía el brazo (color) arriba-abajo, el «planeta» se movía alrededor del «sol». Actuando así, hacía girar el eje del «sol».

Aplicándole alternativamente vapor, y condensándolo después con un chorro de agua fría, generaba el movimiento del pistón arriba y abajo. Esto daba un movimiento arriba y abajo a la viga-balancín, y la viga, a su vez, movía la verga arriba y abajo, haciendo funcionar la bomba.

Hacia 1769 cerca de unas 100 «máquinas de fuego» de Newcomen funcionaban en Inglaterra con un jadeante sube y baja, la mitad de ellas en las ricas «Indias

Negras» de los campos carboníferos de Northumbria. Sin embargo, el aprovisionarlas de combustible requería montañas de carbón. Este inconveniente fue el que hizo que un escocés de 27 años de edad llamado James Watt pasara a ocupar un puesto de primera fila.

Un día de 1763, Watt, que entonces hacía instrumentos para la Universidad de Glasgow, estaba reparando un pequeño modelo de la máquina de Newcomen. Empezó a preguntarse por qué gastaba tanto vapor y combustible para producir relativamente tan poca fuerza. La poca eficacia de la máquina, indudablemente, estribaba en el hecho de que el cilindro se calentaba y se enfriaba. La solución, asombrosa por lo sencilla, se le ocurrió a Watt en 1765, paseando un domingo por el Glasgow Green. ¿Por qué no llevar el vapor a un recipiente condensador separado? Podría mantenerse frío en todo momento; el cilindro entonces podría permanecer a la misma temperatura del vapor constantemente durante su carrera. La pérdida de calor se eliminaría para siempre. «No había caminado más allá de la caseta del Golf, recordaba Watt más adelante, cuando todo quedó dispuesto en mi imaginación.»

Metamorfosis de una jeringa

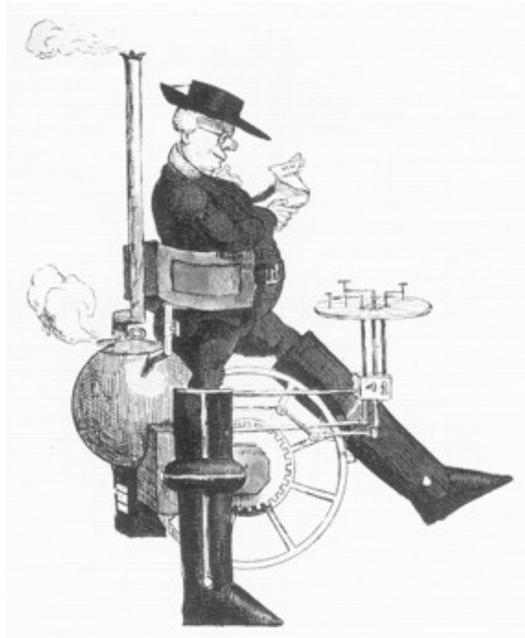
Al día siguiente empezó a experimentar con un modelo de prueba. El pistón y el cilindro eran de una jeringa de cirujano, de segunda mano. Montó un condensador separado; aisló las paredes del cilindro con una cámara llena de vapor, para ayudar a conservar la temperatura; enganchó un peso de 18 libras al pistón, encendió fuego debajo de la pequeña caldera e hizo funcionar las válvulas, dejando entrar el vapor y después haciéndolo pasar al condensador. El pistón subía y bajaba, elevando y haciendo descender el peso. La máquina de Watt funcionaba.

Al principio a Watt no le fueron bien las cosas. Se le acabó el dinero y tuvo que aceptar trabajos de inspector para ir tirando. El primero que le apoyó financieramente quebró. Finalmente, cuando hizo sociedad con Matthew Boulton, un rico fabricante de juguetes y chucherías de metal de Birmingham, cambió su suerte. La nueva república americana, que había de beneficiarse tan grandemente del genio de Watt, acababa de nacer en el año en que éste construyó sus primeras máquinas comerciales para unas forjas y una mina de carbón de Bloomfield. Tuvieron éxito al

instante. Cinco años más tarde, en 1781, la firma «Consolidated Mines», de Cornwall, reemplazó siete máquinas Newcomen por cinco del modelo Boulton & Watt. Realizando el mismo trabajo consumían sólo 6.100 toneladas de carbón al año, contra las 19.000 de las máquinas Newcomen.

No obstante, Watt continuó perfeccionando su máquina, y también ideó un sistema de dar a sus probables compradores una idea de sus posibilidades: estableció el caballo como unidad de medida que aún se utiliza.

Thomas Savery, entre otros, antes que Watt, había fijado la capacidad de trabajo del caballo como un tipo de funcionamiento. Savery comprendió que hacían falta tres caballos para mantener uno trabajando: uno dando vueltas a la rueda que producía la fuerza y dos esperando reemplazarle.



UN PASEO VAPOROSO. La novedad de utilizar el vapor para la locomoción inspiró, en la década de 1820, la impudicia y la sátira. El caricaturista británico Robert Seymour fue el autor del dibujo de este caballero encajado en una máquina de paseo. Las piernas son dos cilindros movidos automáticamente por una máquina de vapor, que le permite concentrarse en la lectura.

Por tanto, si una de sus máquinas hacía funcionar una bomba que necesitaba 4 caballos para moverla, la llamaba una máquina de 12 caballos. Watt lo enfocó rehusando tener en cuenta los, caballos ociosos.

Un caballo de tiro ejemplar

En Física hay una diferencia entre los términos trabajo y fuerza. El trabajo se define como la superación de la resistencia, y la cantidad de trabajo se mide en pies-libras. Un hombre de 200 libras de peso que sube un tramo de escaleras de 10 pies de alto, realiza un trabajo igual a las libras que eleva tantas veces el número de pies que las sube: 200 veces 10, o sea 2.000 pies-libra. Esto no se altera si sube las escaleras en un minuto en vez de una hora.

La fuerza, sin embargo, tiene en cuenta el factor tiempo: se refiere a la velocidad a que se hace el trabajo. Puede expresarse por la ecuación

$$fuerza = trabajo/tiempo.$$

Si el hombre sube las escaleras en cinco segundos, la fuerza que ejerce equivale a 2.000 pies-libras divididas por cinco, o 400 pies-libras por segundo. Watt calculó que un caballo de tiro, Savery no había calculado la fuerza que el animal, que había tenido en la imaginación, podía ejercer por minuto: 32.400 pies-libras, cifra que posteriormente Boukon y él estandarizaron en 33.000. Así, pues, un caballo de fuerza era equivalente a 550 pies-libras por segundo, alrededor de 20 veces más de lo que un hombre podía producir.

Lo único que faltaba para hacer del vapor el más poderoso propulsor primario conocido era un dispositivo para convertir el movimiento recíproco de arriba abajo en la viga balancín de la máquina de vapor, en un movimiento de rotación.

Uno de los obreros de Watt le ganó la mano patentando la solución lógica, una manivela y volante con una biela. Los recursos mecánicos de Watt dieron pronto con otra alternativa, el «engranaje de sol y planeta» (véase más arriba).



UNA CALDERA CON ALAS. En esta extraña máquina voladora, lo mismo que en la caricatura anterior, Robert Seymour se vuelve a meter con la tecnología del siglo XIX, criticando la idea que el vapor pudiera utilizarse para hacer volar al hombre. El aviador va sentado sobre una caldera esférica provisto de alas. Seymour utilizaba el seudónimo de «Shortshonks».

Con la capacidad rotativa vital, el vapor podía ya mover ruedas, correas y maquinaria. Todo lo que pedía una máquina de vapor era carbón barato y agua para la caldera. A cambio, podía proporcionar incansablemente la fuerza de seis ruedas hidráulicas.

Hacia 1824, la gente de todas partes estaba de acuerdo con lo que dijo Sadi Carnot, un ingeniero francés: que el Imperio británico sufriría menos por la destrucción de la totalidad de su flota que por la pérdida de sus trepidantes máquinas de vapor.

Carnot tenía sin duda en su mente una industria que por aquel entonces dependía casi exclusivamente del vapor y se la consideraba como «el sagrado producto y fundación» de la economía británica: la industria textil.

El vapor había revolucionado la industria y, al hacerlo así, había cambiado la faz de Inglaterra. Las fábricas ya no anidaban al lado de los arroyuelos pastorales; se elevaban, como cuarteles con ocho o nueve pisos, donde hubiese carbón para calentar las calderas de sus máquinas de vapor. Sus chimeneas y barrios obreros extendieron una maloliente esterilidad sobre Lancashire y los Midlands. Sin

embargo, convirtieron a Inglaterra en la potencia industrial más rica del mundo, dando auge a sus exportaciones.

Otros inventos, además de los de Watt, naturalmente, contribuyeron a este triunfo. Este fecundo siglo, que había visto salir la máquina de vapor de los artefactos de Papin y Savery, había asistido también a la aparición de inventos dramáticos en el mundo textil. Los telares y ruecas primitivos habían quedado de lado frente a las máquinas que hilaban y tejían las sargas, orgullo de Exeter, y las rojas lanas de Stroud.

Desde los tiempos de Troya, los tejedores habían pasado pacientemente a mano la lanzadera por encima y por debajo de los hilos de la urdimbre, fabricando el tejido sobre la marcha. Posteriormente un sistema de pedal les había permitido elevar toda la serie de hilos pares o impares de la urdimbre, formando una especie de hueco por el cual podían deslizar la lanzadera de una mano a la otra.

En 1733, John Kay, un tejedor y mecánico de Bury, equipó la lanzadera con diminutas ruedas y la ajustó a un rail con un surco que podía moverse a lo largo del marco del telar. Colgó unos mazos de madera, ajustables, a cada lado del telar y los unió por un cordel a un mango central. Entonces el tejedor se pudo sentar en el centro del telar y simplemente tirar del mango. Éste hacía funcionar un martillo, que golpeaba la lanzadera y la enviaba a través del hueco.

Impacto de un artefacto

En el mismo año un carpintero inventor de Lichfield, llamado John Wyatt, escribió a su hermano: «creo que tengo un artefacto de consideración». En efecto, lo tenía. Él y su socio, Lewis Paul, aportaron un nuevo concepto a la hilatura: el uso de rodillos mecánicos para formar un hilo comprimido y fuerte que podía estirarse al ser hilado a la finura deseada.

Unos 35 años más tarde, James Hargreaves, carpintero y tejedor de Blackburn, desarrolló la primera máquina de hilar práctica, «*the jenny*». Era una simple armadura de madera con dos características notables: un dispositivo de manivela y rueda por medio del cual la hilandera podía girar varios husos al mismo tiempo, y un par de carriles móviles para estirar los hilos y torcerlos al mismo tiempo.



PRIMITIVA CAMPEONA. Reina clamorosa entre las primitivas locomotoras de vapor, la Rocket, de George Stephenson, que pesaba más de siete toneladas, incluido el tender, humilló a cuatro rivales en una competición en 1829 para conseguir el derecho a trabajar para el ferrocarril Liverpool y Manchester. Durante las pruebas, la Rocket consiguió la velocidad entonces meteórica de 46 kilómetros por hora. Después de una década de servicio, fue retirada a un museo de Landres.

Tan pronto como esta máquina relegó a la ruca a los áticos de las viviendas, se presentaron mayores y mejores máquinas textiles. La primera fue el «telar» hidráulico de Richard Arkwright, inolvidablemente dibujado por Thomas Carlyle, al decir, «ese barbero panzudo de flácidas mejillas, muy sufrido y muy inventor», que dio a Inglaterra «el poder del algodón». Con ayuda técnica de un relojero y ayuda financiera de un amigo tabernero, esta figura notable, que pasó de la barbería y de hacer pelucas a ser el primer industrial capitalista de Gran Bretaña, hizo y patentó la primera máquina de hilatura movida por fuerza hidráulica. Mientras Richard Arkwright se rodeaba de riquezas y se le concedían honores. Samuel Slater, aprendiz en una de sus fábricas, llevó de contrabando a Norteamérica una versión del telar, en la cabeza. La Gran Bretaña, para proteger su comercio de algodón,

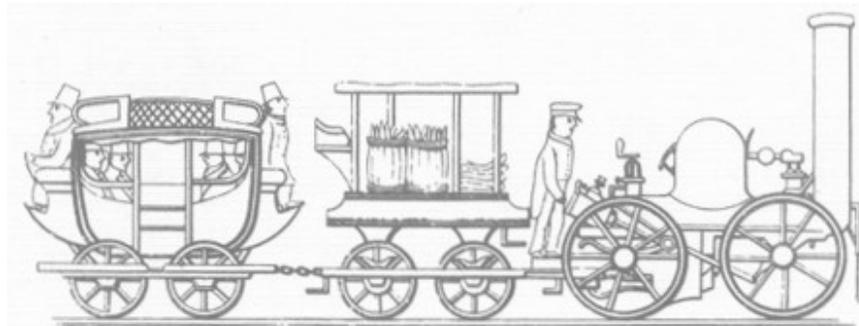
había prohibido la exportación de la maquinaria textil o sus diseños. No viendo perspectivas en su país, Slater salió de Inglaterra en 1789 disfrazado de campesino. En 4 años, en el lugar de Pawtucket, Rhode Island, había logrado construir, gracias a su memoria extraordinaria, la primera planta de hilatura de los Estados Unidos, que funcionó con éxito. En 1840 los artículos de algodón manufacturados en América alcanzaban un valor anual de millones de dólares.

El kilometraje en una mula

Un mojón de no menor importancia que el invento de Arkwright fue la mula mecánica de Samuel Crompton, que combinaba los rodillos del telar y el tren movable del «*jenny*»; sus descendientes ocupan hoy en día las grandes fábricas de hilatura. Un obrero con una mula de Crompton podía hilar tanto en un día como 300 personas en 1760 con las ruelas de mano.

Las máquinas de la revolución industrial británica no sólo aniquilaron el pasado, sino que dieron forma al futuro. Trajeron opulencia e inmundicia, esperanza y degradación; a sir Richard Arkwright y a Carlos Marx. Y al tiempo que esparcían la bendición y la ruina a través del mundo, redujeron sus dimensiones por medio del transporte movido a vapor.

La máquina de vapor de Watt de doble acción, aplicando alternativamente vapor y vacío a cada lado del pistón, había doblado la potencia del cilindro. No obstante, no había utilizado alta presión. Las máquinas posteriores sí lo hicieron. Más rápidas, más compactas, inspiraron los experimentos británicos con locomotoras de vapor que sustituyeran a los caballos.



El primero que puso el vapor sobre ruedas y raíles fue Richard Trevithick, un ingeniero de minas de Cornualles; en 1804, su locomotora de un cilindro, con caldera y pistón horizontales arrastró 10 toneladas de lingotes de hierro, 70 personas en busca de emociones, y 5 carruajes, en cuatro horas, a lo largo de cerca de quince kilómetros de vía.

En los 25 años siguientes, una variedad pintoresca de potros de hierro, traqueteando, humeando y golpeando con sus cilindros, destrozaban los raíles, estallaban e incendiaban la campiña. La resoplante Billy de dos cilindros de Timothy Hackworth y William Hedley; la locomóvil N° 1, de dos cilindros y seis toneladas y media de George Stephenson, que en 1825 arrastró de 80 a 90 toneladas de carbón y harina, de 400 a 600 personas, y una banda de músicos, a un promedio de velocidad de 13 kilómetros por hora, en el primer viaje serio de trenes de pasajeros del mundo; la elegante Royal George de Hackworth, que cargó 22.442 toneladas de flete en un año sobre su línea de 30 kilómetros con un coste de 2.250 dólares, menos de la mitad de lo que costaba hacer el mismo trabajo con caballerías; y el cohete amarillo y negro de Stephenson, que ganó el sensacional concurso de 1829 para decidir cuál había de ser la locomotora que había de utilizar el Liverpool & Manchester Railway.

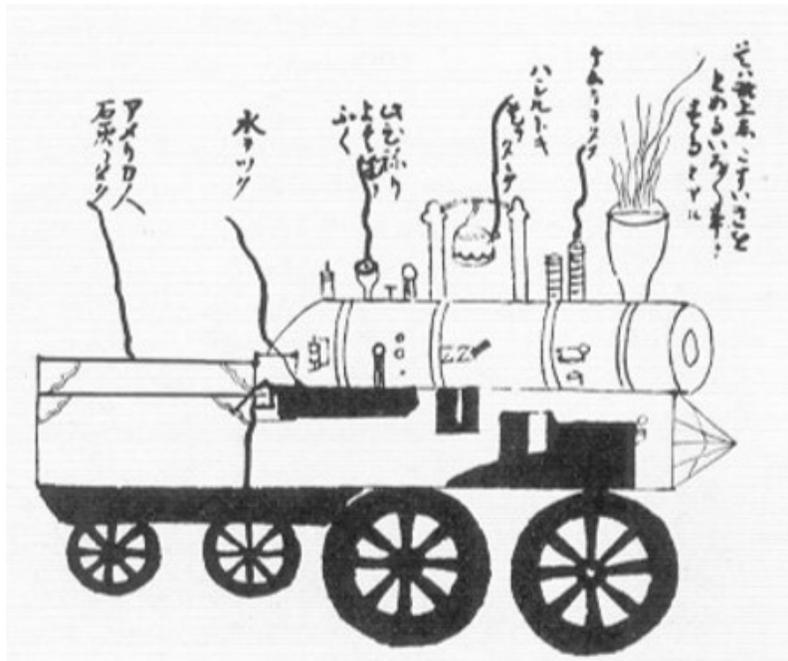
Sobre esta época, sin embargo, los americanos estaban empezando a construir un poco imprudentemente la línea de Baltimore y Ohio, que cubriría no menos de 500 kilómetros desde Baltimore a Wheeling, cruzando los yermos de Allegheny. Bajo el desafío de la vasta extensión del continente que les llamaba incesantemente hacia el Oeste, se entregaron a las máquinas con un fervor especial: locomotoras para dominar sus montañas y desiertos, buques a vapor para recorrer sus tortuosos ríos. En fecha tan remota como 1786, el excéntrico John Fitch construyó una extraña embarcación propulsada a modo de canoa, por 12 palas verticales, seis a cada lado, movidas por vapor.

Negociante demoníaco

Le tocó a Roberto Fulton de Pennsylvania, artista, armero, ingeniero, inventor, el diseñar, construir y manejar el primer buque a vapor que tuvo éxito, una embarcación de 100 toneladas, ruedas laterales con paletas, de fondo plano. Subió

por el río Hudson en su primer viaje y, según un asombrado labrador en la orilla, «era el demonio en un aserradero». Fulton, con mucha vista, combinó una planta de energía, una máquina de Boulton & Watt de 20 HP que movía el cigüeñal de las ruedas de paletas, con un casco que pudiera transportar una cantidad remuneradora de pasajeros y flete. A los dos meses de funcionar por primera vez entre Nueva York y Albany, en agosto de 1807, el North River Steamboat transportaba de 60 a 90 viajeros en cada viaje, cubriendo las 150 millas en 36 horas o menos. Con el tiempo, Fulton lo llamó Clermont, nombre con que figura en la Historia.

En el año 1830, unos 230 buques batían las aguas de América. Aquel mismo año, Peter Cooper condujo su máquina miniatura, llamada Tom Thumb, que utilizaba cañones de mosquetones serrados como tubos de caldera, por el primer tramo de 20 kilómetros de la línea B & O, entre Baltimore y Ellicott's Millis.



REGALO PARA EL MIKADO. Al visitar el Japón en 1854, el Comodoro Mathew Perry regaló al Mikado un tren que marchaba perfectamente a pesar de ser de tamaño pequeño. Entre los entusiastas espectadores japoneses estaba el artista que hizo este dibujo. El texto dice: El lugar para que salga el humo...El lugar para hacer silbido. Esta (la campana) hay que golpearla cuando va en marcha. Y en el ténder, «Los americanos queman carbón aquí»

Tres años más tarde los relucientes raíles serpenteaban hasta Harpers Ferry, 220 kilómetros al norte y oeste, la línea de ferrocarril de mayor alcance del mundo.

Para poder resolver las curvas cerradas y las pendientes fuertes cortadas en los caminos de montaña, los constructores de locomotoras, John B. Jervis, Isaac Dripps, William Harris, Matthias W. Baldwin, el relojero de Filadelfia y otros, introdujeron ciertos detalles sagaces en sus máquinas; una especie de carretilla de cuatro ruedas bajo la parte delantera; una sólida reja «*apartavacas*»; una cabina cerrada en la parte posterior para el maquinista y fogonero; una caja de arena para vías resbaladizas; uniones flexibles para los enganches, que cedieran en las curvas. La fama de las locomotoras americanas llegó al extranjero. Hacia 1830, los fabricantes empezaron a recibir pedidos de Rusia, Alemania, Austria, Cuba y hasta de la misma Inglaterra. En 1859 el bajá de Egipto dio un paseo de 12 horas en un tren de Alejandría a Suez, tirado por su reluciente nueva locomotora americana. «Dios es grande, dijo cuando todo había terminado, pero esos yanquis se aproximan mucho a la perfección.»

Mientras los raíles se adentraban en el oeste, los yanquis se tropezaron con otros problemas y los resolvieron.

Perforaban túneles en las montañas, lanzaban armaduras tipo tela de araña a través de arroyos y barrancos. «Poned la vía primero, gritaban, construid la carretera después.» Alrededor del año 1860 los 50.000 kilómetros de vía que se extendían por el país eran prueba de su iniciativa. Nueve años más tarde estos hombres colocaron el perno de oro en Promontory Point, Utah, uniendo las vías de la Unión y del Pacífico Central, y los raíles encintaron América de mar a mar.

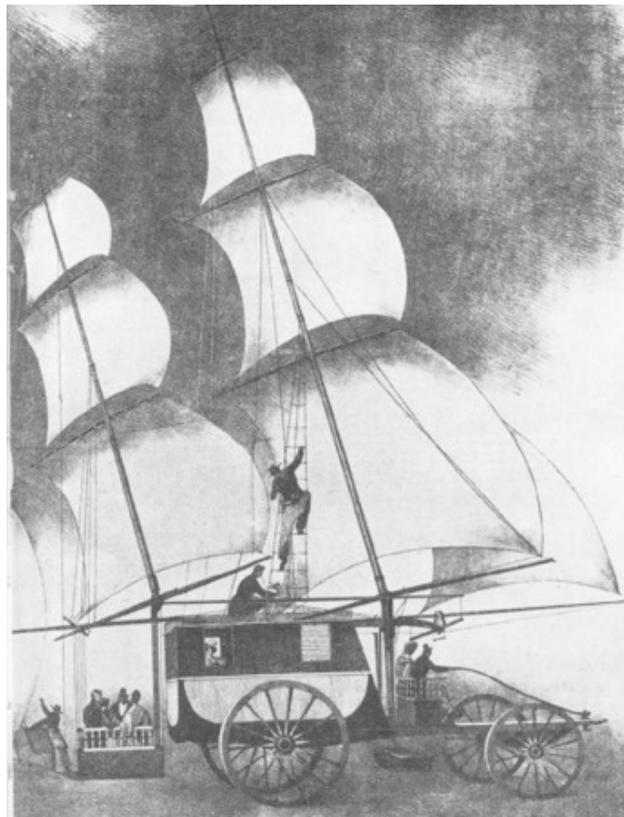
Un silbido tristón sonó en honor del excelso coche Concord, el fiel *wagon Conestoga*, los trenes de perseverantes mulas en el desierto. Dobló una campana cual canto fúnebre por los días de los pioneros y de la salvaje frontera del Oeste. Un caballo de hierro los había destronado.

Un período prolífico en invenciones

La era de invenciones, como el Renacimiento, amaneció en distintos momentos en los diferentes países. Un gran invento daba lugar a otro, dando principio en

Inglaterra con la máquina de vapor de Savery en 1698 y la aplicación de la fuerza del vapor para propulsar máquinas de hilar y tejer, en 1785.

En el Continente, sobre los años 1800, los inventores franceses, alemanes y belgas, añadieron la turbina de agua, el motor de combustión interna y el generador eléctrico; mientras tanto, en América las invenciones como la desmotadora de algodón de Whitney, el buque de vapor de Fulton, la segadora de McCormick y el telégrafo de Morse, proporcionaron a la nación una tecnología independiente. Las páginas siguientes muestran algunas de las obras y rarezas de la época, una era en que la idea de Eli Whitney sobre las partes intercambiables en la fabricación se llegó a conocer en todo el mundo como «El Sistema americano».

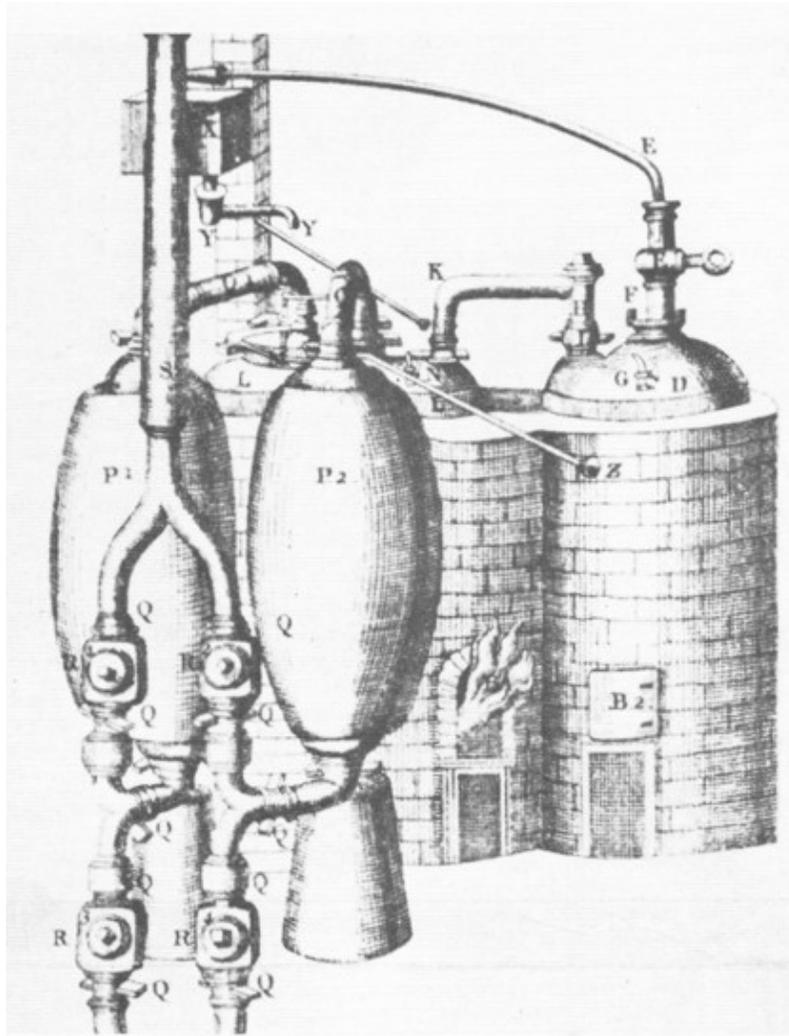


CUPE DE TRES PALOS. Este carruaje a vela del grabado, llamado L'Eolienne por su inventor francés, iba impulsado por ráfagas de viento en las pruebas hechas en París en el año 1834. Este fue uno de los vehículos más eficientes entre una serie que se ideó. Estas formas exóticas de locomoción terrestre fueron finalmente eliminadas del todo por el automóvil moderno.

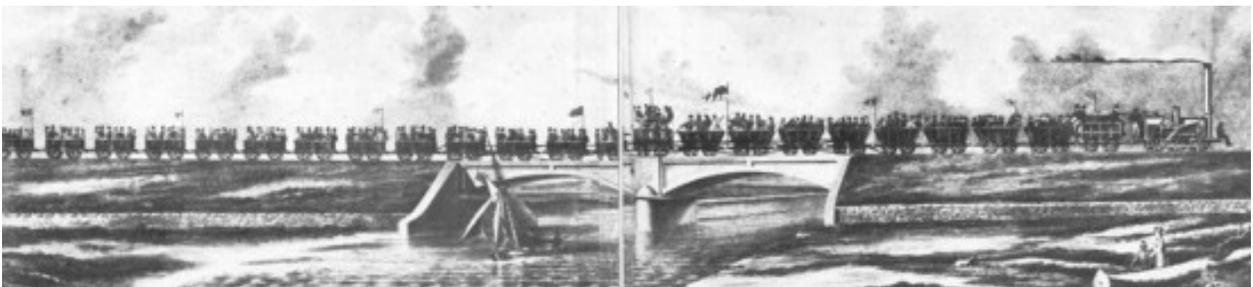
Savery, Newcomen, Watt: los hombres que constituyeron la gran era del vapor

La implacable fuerza del vapor, escapándose de las calderas, impulsó la Revolución Industrial. Reemplazó la débil y fatigada fuerza muscular del hombre y de los animales, y permitió que el hombre hiciera muchas cosas que no podía hacer sólo con sus músculos. El vapor fue explotado primero por Thomas Savery y Thomas Newcomen, en la Inglaterra de principios del siglo XVIII, para achicar el agua que rezumaba en los pozos de mina. Entonces el ingenioso James Watt, que hacía instrumentos, mejoró aquellas primitivas máquinas haciéndolas más útiles, y las convirtió en las fuentes de energía que George Stephenson emplearía para hacer girar las ruedas de una locomotora. La primitiva máquina de vapor era una máquina muy limitada. Era voluminosa. Se calentaba extraordinariamente y presentaba peligro de incendio.

La fuerza del vapor inspiró ideas inventivas en muchas personas más, y muy pronto las fábricas, buques y locomotoras a través de todo el mundo occidental, eran movidas por vapor. Al período de la Revolución Industrial se le llama también la "Edad del Vapor". Aunque las máquinas de vapor han pasado ahora las primicias de su utilidad, su legado perdura. Pues fueron las primeras en meter en la cabeza al hombre la idea fantástica y fructífera de utilizar el calor para la producción de movimiento mecánico. Es esta idea, más que nada, lo que ha dado forma al conjunto de nuestra civilización técnica.



EL VAPOROSO AMIGO DEL MINERO. Esta máquina inventada por Thomas Savery en 1698, utilizaba el vacío creado por el vapor al condensarse para achicar el agua de los pozos de mina. Se llamaba «el amigo del minero» y sólo podía elevar el agua unos 10 metros, Newcomen lo mejoró en 1712.



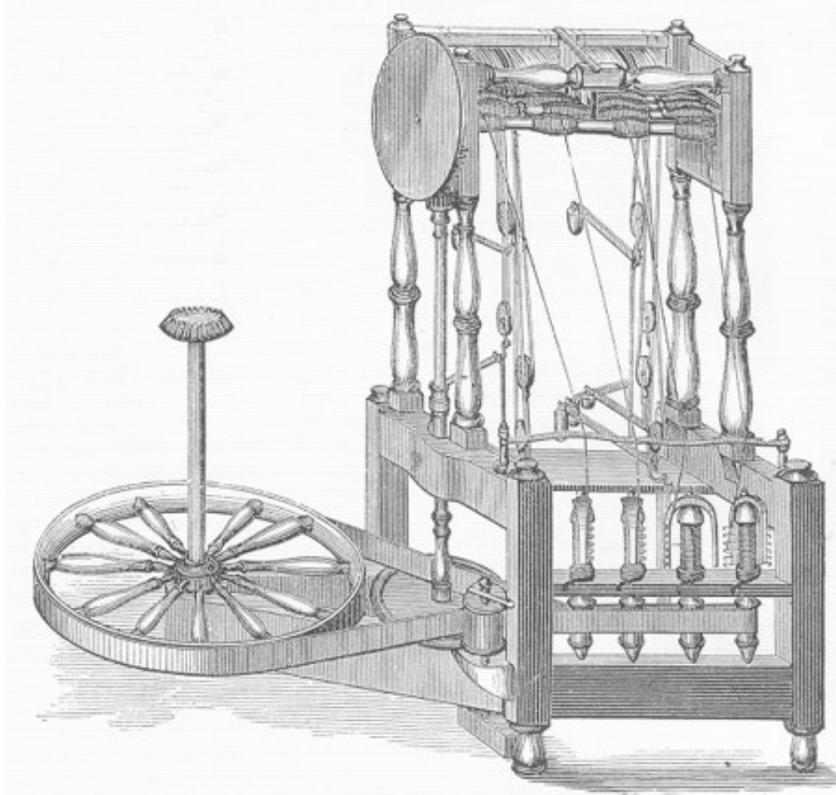
MONTADOS EN EL CAMELLO. Lleno de pasajeros y abriéndose camino entre 10 y 16 km por hora, el tren en esta vieja litografía hace su viaje inaugural en los 30 km de la línea Bodmin Wadebridge, en Inglaterra, en 1834. Llamado «El Camello», su máquina de vapor, tenía poca resistencia.



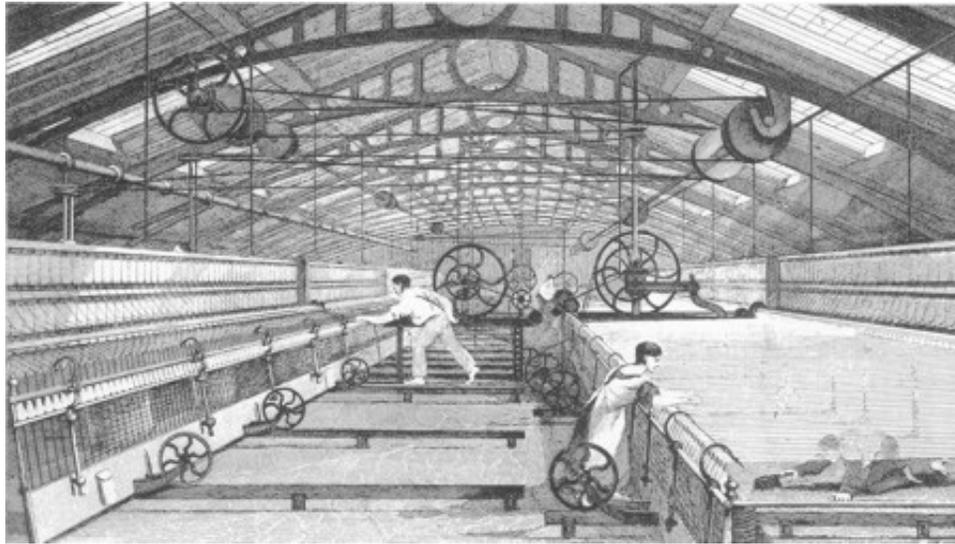
«AGÁRREME EL QUE PUEDA». Para mostrar su locomotora perfeccionada a los mundanos ciudadanos de Londres, Richard Trevithick, en 1808, montó una vía circular dentro de una vallada, cobrando la entrada a cinco chelines por persona. Los jóvenes animosos se lanzaron a contemplar el funcionamiento de la máquina. Los «pocos que no eran demasiado tímidos» montaron detrás de la trepidante máquina, antes de romperse un rail y que descarrilara. Antes del desastre, Trevithick ofreció poner su máquina a correr contra cualquier caballo de carreras.



PADRE DEL SISTEMA DE FÁBRICAS. Aunque a veces se le considera inventor de una máquina para hilar, Richard Arkwright, al parecer patentó un principio ideado por otros. Fue el primero en desarrollar el potencial revolucionario del sistema de fábricas; sacando a los obreros textiles de sus casas.



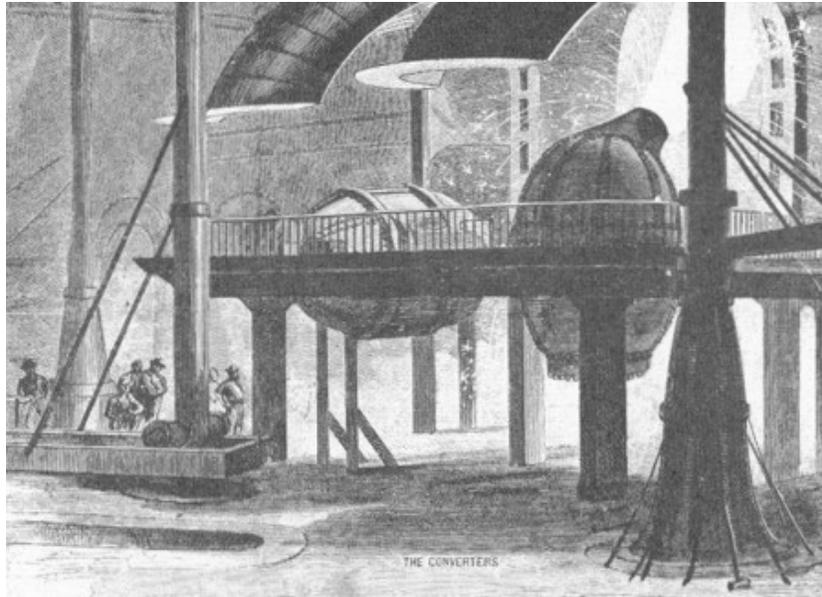
LA MÁQUINA DE HILAR DE ARKWRIGHT. Esta máquina de 80 cm de alto patentada por Arkwright, no solamente podía hilar algodón mucho más aprisa que la vieja rueca, sino que producía un hilo mucho más fuerte. Así fue posible un tejido exclusivamente de algodón y no mezclado con lino.



EL PRINCIPIO DE LA PRODUCCIÓN EN SERIE. En esta nave de hilatura cerca de Lancaster se ven varias de las inmensas máquinas utilizadas a principios del siglo XIX para torcer el algodón en hilo. Cada máquina con 900 husos para arrollar el hilo, está controlada por un hombre. En 1835, cuando se hizo este grabado, las máquinas diseñadas por Samuel Crompton 56 años antes, ya se habían desarrollado.

El trabajo tecnológico de equipo de los textiles y el acero

Hasta 1733 las artes de hilar y tejer cambiaron poco en el curso de 7000 años. Pero entonces, John Kay inventó la "lanzadera volante" que permitió a los tejedores hacer tejidos más rápidamente que los hilanderos eran capaces de hacer el hilo. De la competencia que se originó en Inglaterra entre ambos, surgieron multitud de máquinas: el "*spinning jenny*", de James Hargreaves, y la "armadura hidráulica", de Arkwright, la "mula de hilar", de Samuel Crompton, y el telar mecánico, de Edmund Cartwright.



ACERO BESSEMER AL INSTANTE. Henry Bessemer inventó un nuevo proyectil de artillería pero encontró que los cañones de hierro fundido de entonces no eran bastante resistentes para dispararlo. En vista de ello ingenió un convertidor para extraer el carbono. Producía 20 toneladas en 20 minutos.

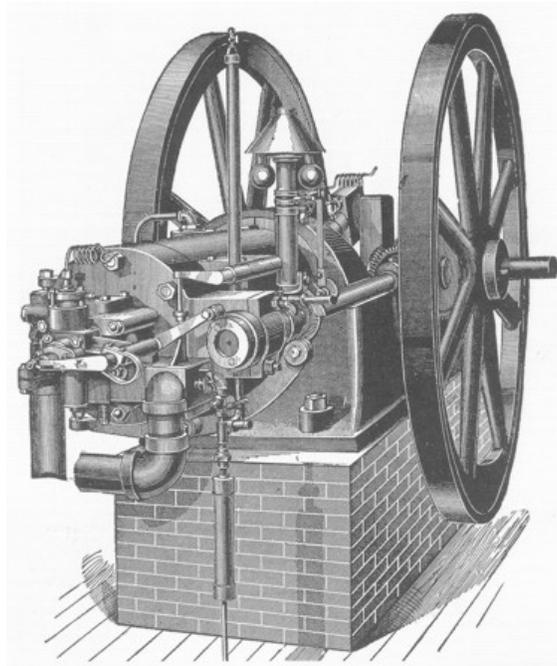
Pero estas máquinas no hubieran llegado muy lejos si no fuera por el desarrollo paralelo en Inglaterra de la industria de metales. Hacía falta un acero fuerte y ligero al mismo tiempo, pero el acero era un material que escaseaba y además caro. En el justo momento, surgieron procedimientos para producir acero en grandes cantidades.



FUEGOS ARTIFICIALES PARA LA REALEZA. El funcionamiento espectacular de un convertidor Bessemer entusiasmó al Príncipe y a la Princesa de Gales en su visita a Sheffield en 1875. Las chispas son producto de una fuerte corriente de aire que pasa por el hierro fundido del convertidor y quema el carbono.



PADRE DE LOS CUATRO TIEMPOS. Al desarrollar el motor de combustión interna de cuatro tiempos, complejo pero eficiente, que hoy se usa tan extensamente, el mecánico alemán autodidacto Nikolaus Otto, puso en práctica las teorías de un francés, Alphonse Beau de Rochas. Estas teorías, a su vez, trataban de las formas de mejorar la máquina de Lenoir, cuyo sistema resultaba antieconómico



EL COMPLICADO CICLO DE OTTO. Un motor tipo Otto de cuatro tiempos, según lo versión de 35 HP de 1893, aumentaba su eficiencia comprimiendo el combustible vaporizado en los cilindros antes de lo ignición. Estos motores de combustión interna no eran solamente más ligeros que las máquinas de vapor, sino que proporcionaban un nuevo elemento de trabajo que utilizaba el petróleo.



FRUTOS TEMPRANOS DE LA AUTOMACIÓN. Antes que Joseph Marie Jacquard inventara su telar para tejer diseños especiales en 1804, eran necesarios gran número de obreros para tirar de las cuerdas que controlaban los telares para tejer seda en Francia. La salud de Jacquard había sido afectada por este trabajo. Los obreros de Lyon se amotinaron a causa del desempleo que ocasionó su telar.

Progreso en el continente: lento, pero seguro

La Revolución Industrial en Europa se produjo a un ritmo más tranquilo que en América y Gran Bretaña. Parte de este retraso se debe a los costos más elevados, tanto en maquinaria como de materias primas, fábricas diseminadas en vez de concentraciones de industrias, y también los portazgos y peajes. No obstante, un grupo de inventores continentales concebían máquinas tan ingeniosas como las que habían ocasionado la chispa de la Revolución en Gran Bretaña y los Estados Unidos. Joseph Marie Jacquard, a quien no interesaba el algodón, construyó un telar notable para tejer diseños complicados en seda fina. Utilizaba tarjetas perforadas para producir los patrones y de esta forma fue precursor de la automatización que llegaría 150 años después.

Los continentales también buscaron fuentes de energía menos pesadas que la máquina de vapor. Un francés, Benott Fourneyron inventó una turbina de agua de gran eficiencia. Otro, Étienne Lenoir, creó el primer motor de combustión interna. Fue mejorado notablemente por el alemán Nikolaus Otto. La electricidad fue utilizada con éxito por el belga Zénobe Gramme.



EL MAGO DE LA ELECTRICIDAD. Esta estatua en Lieja, conmemora el desarrollo de la primera dinamo industrial práctica, debida al belga Zénobe Gramme en 1876. La máquina de Gramme utilizaba la fuerza de la máquina de vapor para hacer girar las bobinas de alambre en un campo magnético y producir electricidad. Lo misma máquina movida por electricidad se convirtió en motor

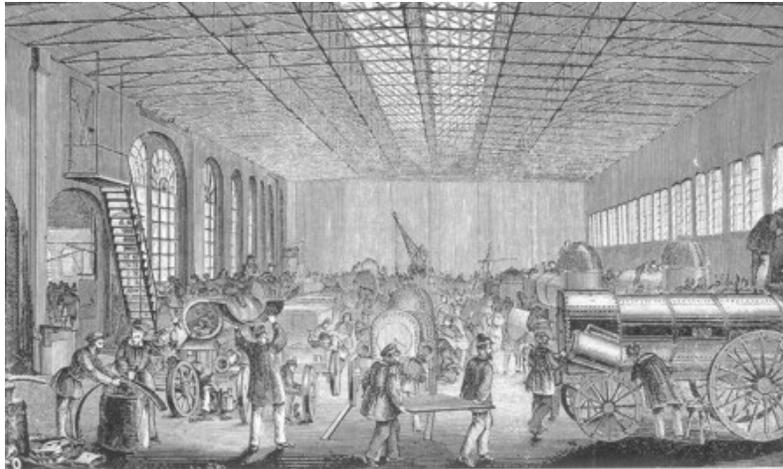
En América, un sistema nuevo llamado producción en serie

El fermento de la Revolución Industrial europea tuvo su contrapartida en América. Pues todo el tiempo que los europeos estaban ingeniando máquinas, los inventores americanos estaban también inventando un sistema, conocido ahora por Producción en Serie. Se le llamaba en todo el mundo "El Sistema americano".



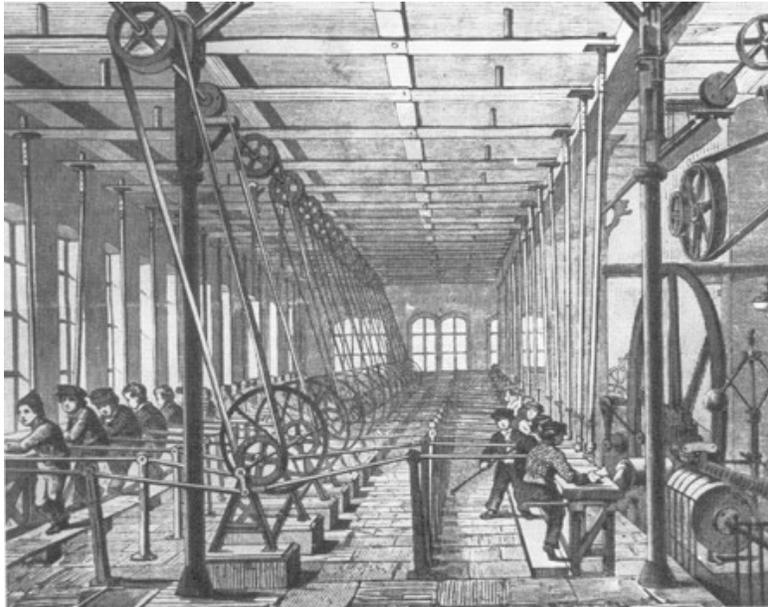
EL HOGAR DEL SISTEMA AMERICANO. La fábrica de armas de Eli Whitney, en Hamden, cerca de New Haven, la primera fábrica en utilizar la producción en serie, está situada en un lugar agradable al lado de un río. Whitney proporcionaba a su personal viviendas aseados cerca de la fábrica.

Su éxito dependía de la división de trabajo y el uso de maquinaria para hacer piezas uniformes e intercambiables.



LOCOMOTORAS IDÉNTICAS. En la nave de montaje de la fábrica de máquinas Borsig, en Berlín, en el año 1848, los obreros están montando locomotoras con las piezas fabricadas en otras secciones de la factoría. Esta técnica permitía a la vez reparaciones poco costosas y rápidas de toda la maquinaria, puesto que las piezas rotas o gastadas podían reemplazarse rápidamente.

La situación en la América que se expansionaba encajaba muy bien con el nuevo sistema; la gran demanda de artículos manufacturados unida a la falta de artesanos adiestrados para fabricarlos. La producción en serie se extendió con fantástico éxito por todo el mundo occidental. Sin embargo, se produjeron, desgraciadamente, abusos tales como la explotación de los niños.



FABRICANTES DE PAPEL PARA PAREDES. Un grabado en madera tomado de un periódico alemán de 1858 muestra a los niños trabajando en las máquinas de hacer papel para paredes. A veces los niños eran el único sustento de la familia; tal vez ella fuera causa del rápido aumento en la natalidad.

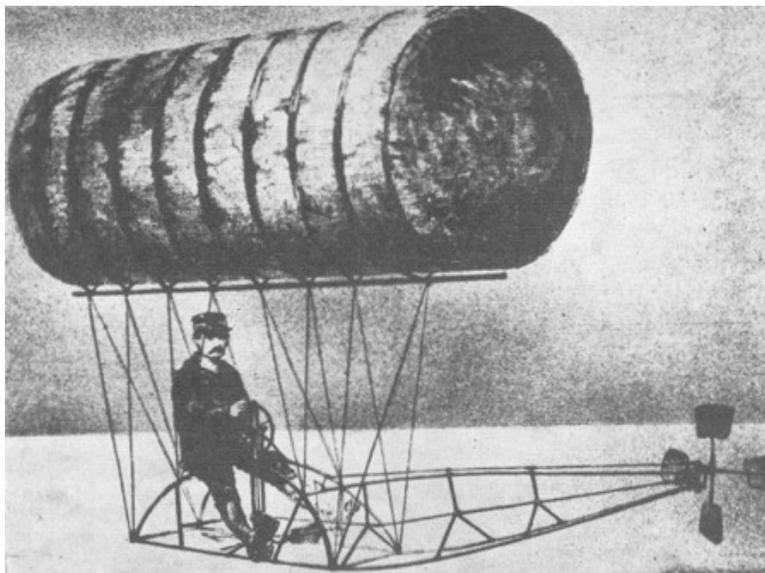


HIJA DEL SISTEMA DE FÁBRICAS. Una niña pequeña cuidando de una máquina de hilar, como la que vemos, en una localidad desconocida de las EE.UU. podía producir tanto hilo como cientos de hilanderos un siglo antes. Una de sus obligaciones era volver a anudar las hilas cuando se rompían accidentalmente. Se utilizaba a las niñas porque se les daban salarios más bajos.

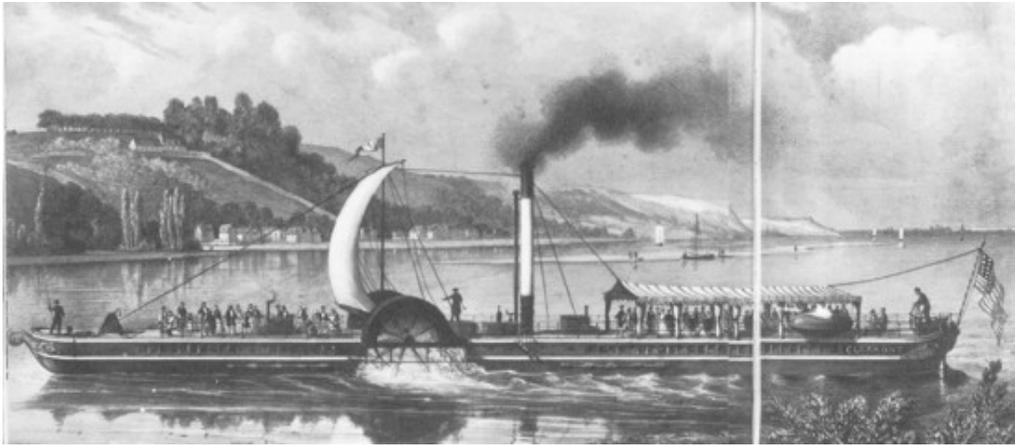
El genio yanqui brota produciendo inspirados ingenios

“Podría hacer cualquier cosa que una persona necesitara, cualquier cosa en este mundo, sea lo que fuere; y si no hubiera forma de producir una cosa como novedad, la inventaría...” Esta aseveración agresiva de fe en sí mismo hecha por Mark Twain en su *Yanqui de Connecticut*, puede sostenerse como credo de todos los genios inventivos de la América del siglo XIX. Exaltados por el egoísmo, decisión y exhibicionismo, vendían sus ingenios a pesar de la oposición de los conservadores y los suspicaces.

Robert Fulton, Cyrus McCormick y Samuel Morse hicieron poca contribución a la teoría científica. Sus mismas invenciones fueron poco más que modificaciones y amalgamas de las de otros hombres. No obstante, era su genio para la síntesis, y su habilidad para despertar el entusiasmo, y la financiación, lo que convirtió sus sueños en éxitos comerciales. Sin hombres de este calibre, la revolución en la industria, la agricultura, comunicaciones y viajes hubiera sido menos expansiva.



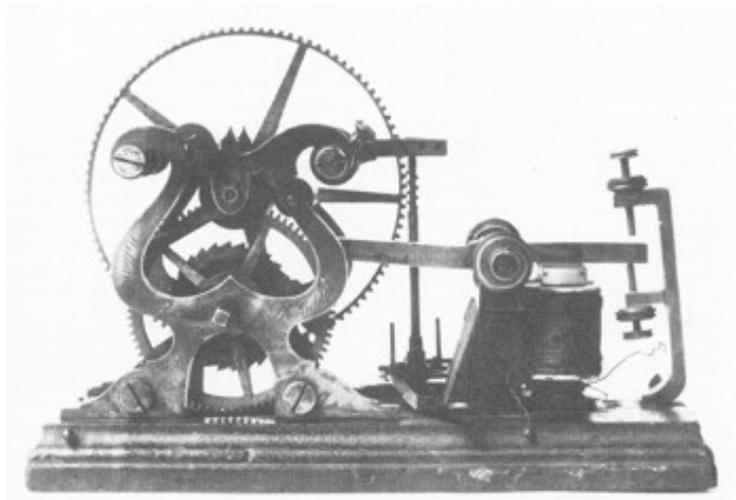
EXTRAÑA MÁQUINA AÉREA. En 1878 los ciudadanos de Hartford, Connecticut, vieron al profesor C. F. Ritchell cruzar por el aire con su «bicicleta volante». Sosteniéndose en el aire por medio de un pequeño globo cilíndrico, el artefacto se movía por medio de uno hélice y pedales.



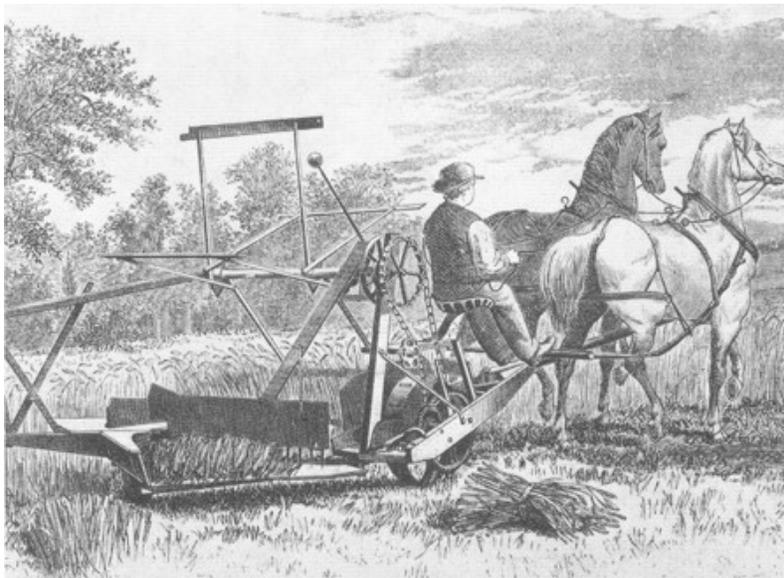
EL PRIMER VAPORCITO DE FULTON. «El Clermont», vaporcito de Robert Fulton, no era una innovación. Veintiún años antes de su primer viaje Hudson arriba, en 1807, John Fitch había experimentado con un buque semejante. La gran aportación de Fulton fue un diseño de casco mucho mejor. Un testigo gritó que el diablo subió por el río hacia Albany en una fábrica de aserrar madero.



DIFUSIÓN ELÉCTRICA DE LA BIBLIA. Tras de insistir pesadamente en el Congreso, el gobierno finalmente concedió a Morse \$30.000 para establecer una línea telegráfica entre Washington y Baltimore. Vemos un modelo de su máquina que el 24 de mayo de 1844 marcó en clave: «¡Lo que Dios creó!»



MORSE: PINTOR E INVENTOR. Samuel Morse cuyo nombre quedará siempre ligado a la telégrafo, también era un consumado pintor. Los principales distintivos del telégrafo fueron desarrollados por dos contemporáneos, Joseph Henry y Leonard Gale, pero Samuel Morse sintetizó sus ideas.



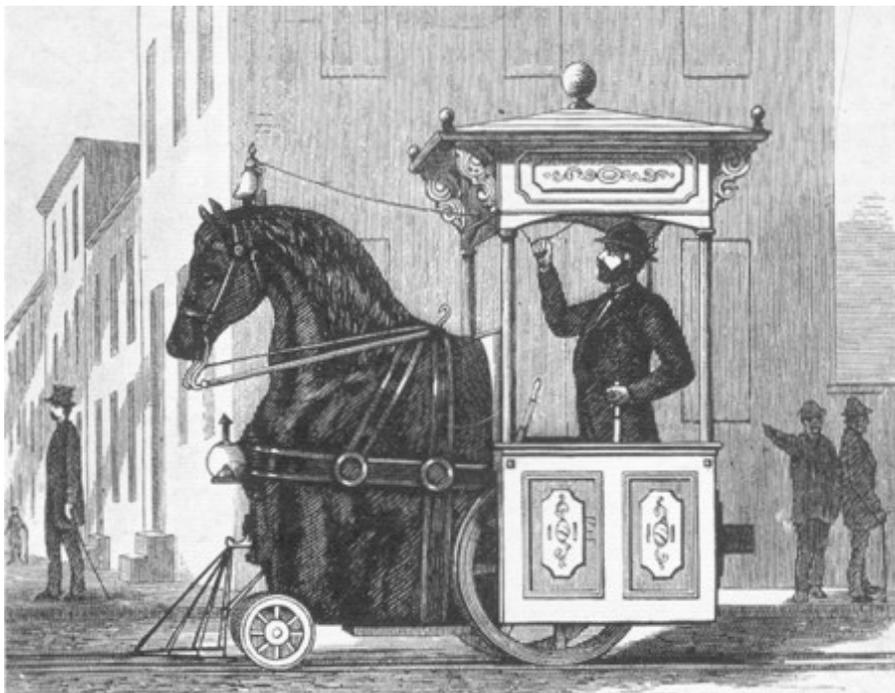
EL ARADO CONVERTIDO EN UN ARMA. La segadora y posteriormente la cosechadora que Cyrus McCormick perfeccionó, fabricó y después mercantilizó con técnicos comerciales modernos, incluso con los ventas o plazos, transformaron la economía del país y ayudaron a ganar una guerra. El Oeste se convirtió en un fecundo terreno triguero. La riqueza y prosperidad que el invento proporcionó al Norte fue uno de los factores decisivos de la victoria de la Unión sobre la Confederación.

Coronando un siglo de independencia e ingeniosidad creadora

En 1876 los EE.UU. celebraron el centenario de su independencia organizando una gran exposición en Filadelfia, ciudad donde se había firmado la Declaración. Para sorpresa y contento de los organizadores, no solamente todos los Estados, 37 en aquel entonces, sino también muchas naciones de Asia, Europa y Sudamérica, decidieron participar. Cerca de 10 millones de personas visitaron la exposición.

Ya que la guerra civil y la reconstrucción estaban a salvo en el pasado, las industrias de la nación surgieron con nuevo vigor y prosperidad. La producción se elevó. Las máquinas y las técnicas nuevas, con frecuencia eran perfeccionadas por otros inventores.

El signo de energía más dramático en la feria era la inmensa máquina de vapor Corliss, que proporcionaba fuerza a todas las demás máquinas de la feria. Y mientras los americanos veían asombrados los logros mecánicos a su alrededor, los europeos estaban perfeccionando aún más maravillas.



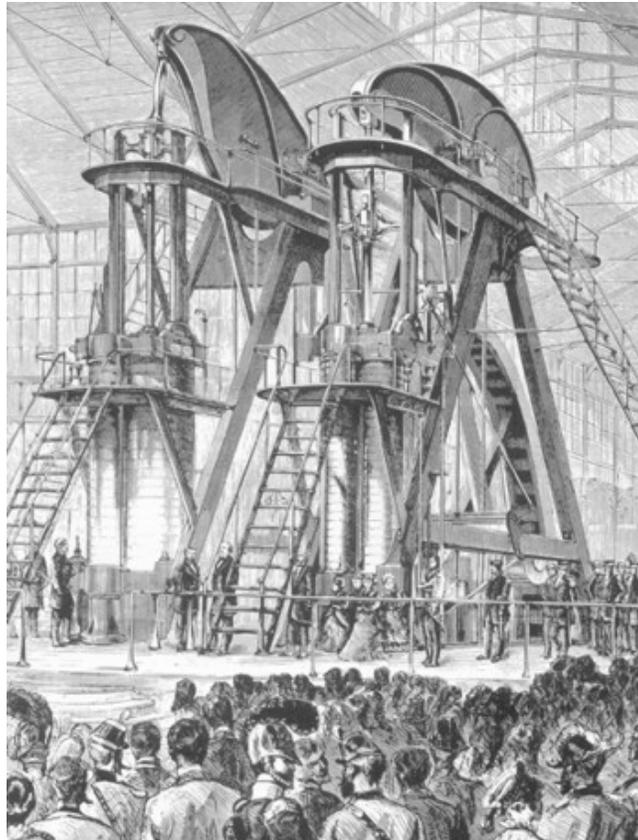
COMBINACIÓN DE VAPOR Y CORCEL. Este dibujo de una locomotora callejero construida en América, fue objeto de un artículo de actualidades en un periódico ilustrado alemán en 1876. El curioso antecesor del tranvía, rodaba sobre raíles y estaba propulsado por vapor de una caldera, con gas por combustible. La figura del corcel era para calmar los temores de cualquier caballo quisquilloso.

En el mismo año que Zénobe Gramme diseñó su generador con éxito comercial, Paul Jablochhoff inventó una especie de arco voltaico para iluminación, y Nikolaus Otto perfeccionó su motor de combustión interna.



ROMPIENDO LA BARRERA DEL SONIDO. Alexander Graham Bell pronunció las primeras palabras en el nueva ramal de teléfonos entre Chicago y Nueva York, el 18 de octubre de 1892. El aparato que utilizó era una versión muy perfeccionada del modelo primitivo que había expuesto en Filadelfia en el Centenario. En 1900 casi lo mitad del pueblo americano tenía a su alcance un teléfono.

La exposición era, citando las palabras aparecidas en el *Atlantic Monthly*, "...evidencia de la fuerza creadora del hombre... Prometeo desencadenado".



UN GIGANTE MECÁNICO. La máquina de vapor Corliss, de 700 toneladas era la máquina más poderosa del mundo en 1876. Situada en el centro de la nave de maquinaria de la exposición, la máquina tenía cilindros de casi un metro de diámetro, el presidente Ulysses S. Grant y el emperador del Brasil, Don Pedro, inauguraron la exposición poniendo en marcha la máquina.

Capítulo 4

Líneas de montaje, avenidas hacia la abundancia

En este lado de la contienda, los americanos puede ser que no sepan jamás lo fuerte, vivo, eficiente y firme que es su país hasta que vean en acción la producción de una línea de montaje en una industria pesada.



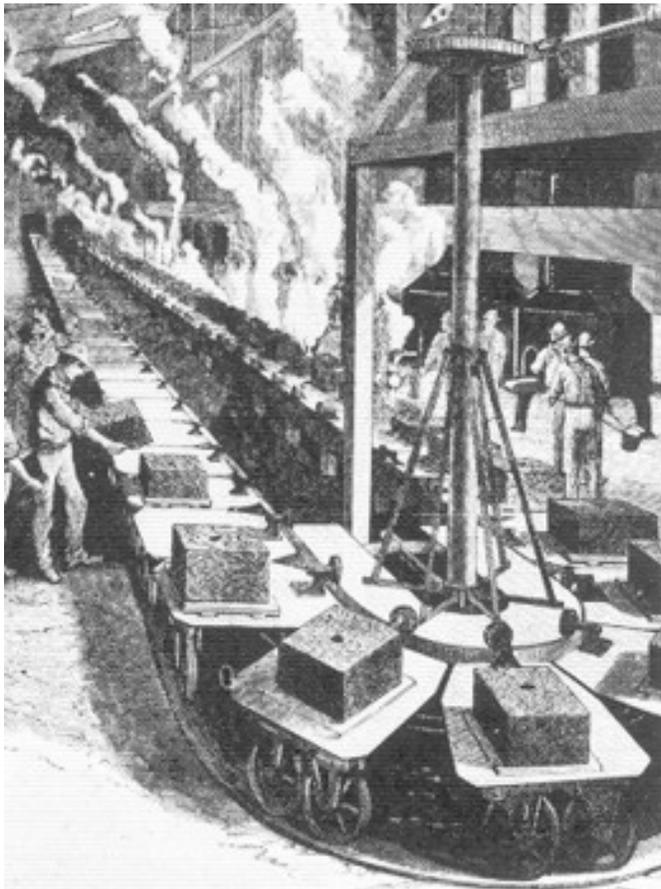
A MILLARES RESULTA MÁS BARATO. Presagiando los técnicos de producción en serie de hoy, la línea de montaje de Henry Ford en 1913 terminaba en el exterior de la fábrica, donde las carrocerías del modelo T se deslizaban por una rampa para caer sobre el chasis completo. Aunque primitivo, el funcionamiento original de Ford ayudó a transformar el automóvil en una máquina popular.

Imagínense una fábrica que se extiende sobre un área del tamaño de 30 ó 40 campos de fútbol. Cada pulgada de terreno que no sea esencial para el paso o piezas sin montar está abarrotada de maquinaria destinada a producir otra máquina, un automóvil, digamos, por minuto. En esta jungla de hierro hay máquinas que martillean, taladran, hacen soldaduras, punzan, pulimentan, pintan, sujetan, elevan, transportan, cortan, golpean, aprietan; máquinas capaces de

romper los tímpanos con sus gemidos, chillidos, golpes y martilleo. Miles de hombres y máquinas se unen en una salvaje orquestación de calor, fuerza, carne, metal, chispas, ruido y movimiento.

Alrededor, a través y por encima de ellos, están los transportadores y monorraíles de la línea de montaje y sus tributarios, marchando a unos inexorables dos metros por minuto.

Para uno de fuera, la escena parece producto del delirio de un ingeniero. En realidad es una obra maestra de precisión de tiempo, coordinación y propósito. Cada segundo tiene su objeto. Cada movimiento está documentado por el estudio. Cada máquina hace una cosa una y otra vez y así sucesivamente. Reunidas aquí para ser utilizadas en este turno, para cada coche montado en este día, en esta fábrica precisamente, en Willow Run, hay 13.500 piezas: motores, transmisiones, ballestas, engranajes, trompetas de palieres, carcasas de diferencial, palier, tambores de frenos, goma de espuma, juntas, cerraduras, radios, neumáticos y todo lo demás.



FORMAS DEL FUTURO. Anticipándose a lo cadena transportadora, tan vital para la producción en serie de hoy, esta «banda viajera» que vemos arriba funcionaba en 1890 en una fundición de Pittsburg para la fabricación de pequeñas piezas fundidas para los frenos de los ferrocarriles. La «banda» era en realidad una serie de mesas enganchadas y montadas sobre ruedas que circulaban por una vía a través de las departamentos de fundición, moldeado, etc.

Muchas de las piezas han sido acopladas en sub-líneas particulares, en pueblos cercanos y lejanos. Sin embargo, cuando el coche va tomando forma, la plancha bajo la puerta encaja con la plancha del costado, la puerta encaja en el costado, las ruedas encajan en los ejes, el eje encaja en el chasis; las pistolas de soldadura automática hacen 45 soldaduras en la parte inferior de la carrocería en 60 segundos; los obreros tardan 60 segundos en instalar las ballestas. El coche sale rodando en la línea con las luces encendidas, las señales centelleando, la bocina sonando, los limpiaparabrisas batiendo y con ocho litros de gasolina medidos en el depósito. A seis metros de distancia viene otro coche, y seis metros detrás de aquél viene otro.

«Tan americano como la reunión de vecinos para desgranar el maíz», es lo que ha dicho una autoridad de la producción en serie. Está ciertamente arraigada en la mente de los americanos, un medio indispensable hacia metas nacionales tan básicas como una economía fuerte, un nivel de vida elevado y la defensa de nuestra libertad.

Ya desde la guerra civil, la producción en masa de acero, de cañones lisos Rodman, de rifles Springfield, zapatos, uniformes y alimentos enlatados, permitieron que la Unión derrotara al Sur, falto de tecnología. «Podéis creernos, decía un editorial del *Philadelphia Inquirer* en 1861, estos genios yanquis producirán todavía alguna patente de excavadora secesionista, algún aniquilador de traidores, una trilladora de rebeldes, una máquina de moler Estados Confederados, que muele por completo, descascare o corte en rebanadas esta guerra como si fuera una cuartera de trigo, una espiga de maíz o una manzana grande.»

En la segunda Guerra Mundial las re-equipadas líneas de montaje americanas produjeron 200.000 tanques, 300.000 aviones y un número de buques suficiente para hacer un puente en el océano. Sólo los principios de línea de montaje hicieron posible la fabricación secreta de los componentes de la bomba atómica en distintas fábricas, y su montaje final en Los Álamos.

Ahora, en tiempos de paz, la utilización creativa y en masa de grandes concentraciones de maquinaria de precisión podría suministrar la enorme e insaciable demanda de productos diversos, desde pelotas de golf a computadores

electrónicos, de platos de papel a motores a reacción, y, sobre todo, de automóviles, camiones y autobuses.

Un quinteto bien acoplado

La producción por línea de montaje tardó mucho en llegar. La gente la buscaba a tientas en los polvorientos talleres ingleses y europeos alrededor del 1700, y finalmente se consiguió en la fábrica de Henry Ford en Highland Park, Estado de Michigan, en 1913. Representa una síntesis compleja de cinco elementos:

- división de trabajo, separando el proceso de producción en tareas separadas llevadas a cabo por especialistas (hombres, máquinas o ambos) que no hacen otra cosa;
- estandarización de piezas, para que puedan ser producidas en serie por las máquinas, tanto para intercambio como para ser montadas por obreros no adiestrados o semi-adiestrados;
- mecánica de precisión, que hace la estandarización posible por medio de dados, moldes o máquinas fielmente producidas de acuerdo con planos;
- la línea de montaje misma, el método de mover en línea el trabajo de un obrero o máquina hasta el siguiente, con regularidad.
- El quinto elemento tiene menos que ver con la mecánica que con el deseo. Si no existe o se presenta demanda en masa de un producto, nadie se compromete al gasto de acoplar las máquinas y de producirlo en serie.

El primero de los elementos en aparecer fue la división del trabajo. Ésta había existido de forma primitiva en la producción casera de textiles británicos antes de la Revolución Industrial; las mujeres cardaban la lana y la hilaban convirtiéndola en hilo; el hombre de la casa lo convertía en tejido. Después, en 1700, Christopher Polhem estableció en Stjersund, Suecia, una fábrica de productos metálicos, que tenía más de 200 operarios, enrolados, bien por tener un oficio determinado o por estar adiestrados para manejar una máquina determinada.



UNA MEDALLA HONORÍFICA SUECA. Esta medalla, acuñada en Suecia poco tiempo después de su muerte en 1751, conmemora el genio mecánico de Christopher Polhem. Muchas de sus innovaciones en la fabricación en gran escala fueran ignoradas más tarde, pero durante su vida, sus logros impresionarán de tal forma al rey de Inglaterra y al zar de Rusia, que ambos trataron de atraerle a sus países con ofrecimientos lucrativos. Como era un gran patriota, Polhem rehusó.

Polhem era un brillante pionero en tecnología y autor de unos 20.000 manuscritos sobre materias que abarcaban desde la maquinaria textil hasta una teoría original sobre la creación, y se le conoció por el «Arquímedes del Norte». Ardiente nacionalista, le molestaba ver que Suecia producía hierro, acero y cobre de la mejor calidad, y que los exportara, y después volviera a adquirirlos.

Batallando para conseguir la fabricación nacional, dijo: *«No sacar jamás del país aquello que pueda utilizarse para proporcionar un beneficio a vuestro pueblo. Dejar que vuestras necesidades y vuestro orgullo sirvan de guía para que todo se haga en vuestro propio país».*

El término *«producción en serie»* no había sido acuñado todavía; sin embargo, Polhem se propuso rebajar los precios de producción, lo mismo que hizo Ford después, sustituyendo donde fuera posible el trabajo humano por la máquina y la fuerza mecánica. Con parte de ayuda financiera del gobierno, construyó una serie de molinos cerca de un tumultuoso arroyo entre dos lagos. La estructura principal era una inmensa herrería y molino de unos 100 metros de longitud. Sus siete ruedas hidráulicas propulsaban 9 martinets o más, así como varias máquinas de cortar y cilindrar, diseñadas personalmente por Polhem. En otros edificios había un aserradero de madera, un molino harinero y un granero. Había también talleres de clavos, cerrajería, relojería y estañado.

La asombrosa variedad de artículos fabricados en serie, y en su mayor parte producidos a máquina en Stjernerund durante su apogeo en los años 1720, comprende ollas, cacerolas, morteros, platos, cazos; herramientas manuales para carpinteros, herreros, escultores; relojes, cerraduras, platos, tazas, cucharas, cuchillos, tenedores, prensas de acero, ruedas de asador, catres para el ejército, techados y canalones de hojalata, tornillos, pernos y adornos de metal.

La disposición inventiva de Polhem servía para acelerar este torrente. Para dar forma a las fuentes de plancha de hierro, por ejemplo, diseñó una serie de martillos mecánicos accionados por levas sobre un eje horizontal movido por una rueda hidráulica. Un martinete de hierro colado daba forma y moldeaba la pieza plana al rojo blanco, que era acabada por una máquina con cinco martillos más pequeños. Estas máquinas producían el notable total de 15 docenas de fuentes por día.

Muchas de las máquinas de Polhem estaban por delante de su tiempo, y cuando se murió a los 90 años, Stjernerund cayó en el abandono. La demanda de maquinaria para producción en serie en la misma escala no habría de surgir hasta la guerra civil americana. Entretanto el vapor suplantó a la fuerza hidráulica, los inventores fuera de Suecia construyeron su propia maquinaria, y el recuerdo de Polhem se desvaneció.

Portentos en un alfiler vulgar

Sin embargo, el ímpetu hacia la producción en serie persistió. En 1762, Jean-Rodolphe Perronet, el ingeniero que construyó el puente de la Concordia de París, escribió un fascinante análisis de una fábrica en l'Aigle, Francia, donde se fabricaban alfileres corrientes de metal. Al detallar la división del trabajo, Perronet también hizo algunas observaciones, notables por la forma en que anticipaban los estudios modernos de tiempo y movimiento de los obreros: «Un hombre puede estampar en un minuto 20 cabezas de alfiler, entre gruesos y delgados; y como golpea cada cabeza 5 ó 6 veces, el yunque recibe de 100 a 120 golpes por minuto.

Un estampador prepara usualmente 1.000 alfileres en una hora y de 10 a 12.000 en un día». Según escribió Adam Smith, augusto contemporáneo de Perronet, en *La Riqueza de las Naciones*, 10 hombres no adiestrados, cada uno trabajando por su cuenta, no encontrarían fácil hacer un alfiler por día, o sea 10 en total; pero forme

usted un equipo de 10 hombres bajo el techo de una fábrica, con división de trabajo, y harán más de 48.000.

Una de las primeras industrias mayores que se adhirieron a la técnica de división de trabajo para acelerar la producción fue la de productos alimenticios. Un fehaciente informe de un testigo presencial sobre una empacadora de carne de cerdo de Cincinnati, allá por el 1850, procede de Frederick Law Olmsted, el arquitecto panorámico.

Cuatro hombres, dos para levantar y volver las carcasas, y dos para blandir las cuchillas, formaban, según Olmsted, *«una especie de máquina descuartizadora humana»*, funcionando con la eficiencia impersonal de una rueda dentada: *«Con un hábil juego de manos, los jamones, espaldas, limpio, sucio y primera, vuelan todos perfectamente cortados a sus lugares respectivos, donde los ayudantes, valiéndose de carros y montacargas, los despachan para sus diversos destinos: el jamón para Méjico, el lomo para Burdeos»*. En su asombro, Olmsted midió el tiempo desde el momento en que un puerco caía sobre la mesa hasta que otro ocupaba su lugar, 35 segundos.



GRAN PRODUCCIÓN DEL CERDO. Para ayudar a calmar el apetito de América durante el siglo XIX, se aplicaron métodos de línea de montaje para todas las fases de preparación del cerdo. Aquí vemos las carcasas que están colgando en unos ganchos con poleas y son pasadas a otros operarios para extraerles los intestinos. Las conservas se introdujeron en 1850. Cuando esta caricatura apareció en Harper's Weekly, una factoría tenía 150 empleados que manipulaban 1.500 cerdos al día.

El segundo elemento de producción por línea de montaje, piezas intercambiables o estandarizadas, tuvo efecto a fines del siglo XVIII. Un armero experto puede producir un mosquete completo en una semana; un obrero no adiestrado no lo puede hacer, pero si cada grupo de obreros no adiestrados, durante el mismo período, no hicieran otra cosa que una pieza idéntica todo el día, todos juntos producirían suficientes cierres, culatas y cañones para montar un número considerable de mosquetes.

El consejo de un estadista

En 1785 un armero francés llamado Le Blanc, mostraba a Thomas Jefferson, a la sazón embajador americano en Francia, cómo progresaba el trabajo, y separó en cajoncitos separados las piezas estandarizadas de 50 cierres de mosquete. Entonces sugirió que su visitante sacara piezas al azar de cada cajoncito y las uniera. Jefferson quedó lo bastante impresionado para escribir a John Jay, ministro de Asuntos Exteriores, diciendo: *«Aquí se lleva a cabo un adelanto en la fabricación de mosquetes que es posible interese conocer al Congreso, si es que alguna vez tienen intención de procurarse algunos. Consiste en hacer todas sus piezas tan exactamente iguales que lo que pertenece a uno puede utilizarse para cualquier otro mosquete.»*. Además, dijo Jefferson, *«él (Le Blanc) lo realiza por medio de herramientas de su propia construcción, que acortan el trabajo de forma tal que cree que podrá suministrar los mosquetes dos libras más baratos que el precio corriente»*.

Los arsenales franceses, sin embargo, debían estar bien provistos de mosquetes; Le Blanc tuvo dificultad en hallar quien le respaldara. Nadie parece haber pensado en adaptar la idea de las piezas intercambiables a otros productos. Sin embargo, para la nueva nación americana era un principio que iba a ayudar a forjar una forma de vida.

La historia de Eli Whitney, no sólo inventor de la desmotadora de algodón, sino que también reconocido generalmente como el patrocinador de las piezas estandarizadas en la producción en serie, es ahora un capítulo clásico en el folklore de la tecnología americana: Hacia fines de la década de 1790, cuando amenazaba la guerra con Francia, se comprometió a servir un contrato del gobierno por 10.000

mosquetones, dentro del increíble plazo de dos años; pasó horas y horas equipando de herramientas su fábrica de Whitneyville en Hamden, Connecticut, y, finalmente, dispuso una factoría de máquinas movidas por fuerza hidráulica realizando cada una, una etapa predeterminada en la fabricación de piezas idénticas.

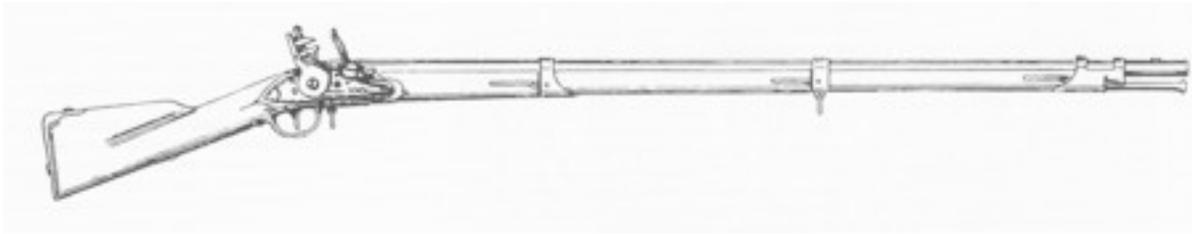
Un sobrino observador

No ha sobrevivido diseño alguno de estas máquinas; Whitney no solicitó patentes, compartiendo con los demás sus conocimientos. El único relato de primera mano que existe sobre su fábrica figura en una carta imperfecta, aunque enjundiosa, escrita por su sobrino de 10 años Philos Blake: *«Ay una máquina de taladro y una máquina de perforar para cañones y una máquina de tornillo y dos muy grandes edificios, un otro taller y uno almacén para almacén de fusiles, una herrería y martillo de fragua»*.

UNA FIGURA CLÁSICA DE LA TECNOLOGÍA AMERICANA



DESMOTADORAS DE ALGODÓN Y MOSQUETES. Eh Whitney tenía inclinación a lo mecánico ya desde niño, cuando en la granja de su padre en Massachusetts, forjaba clavos y alfileres de sombreros para venderlos en la localidad. Su desmotadora de algodón, inventada cuando sólo tenía 27 años, la diseñó y construyó sólo en 10 días, y dio principio a una nueva y fructífera era en la agricultura. Más tarde Whitney se hizo armero y construyó 10.000 mosquetes Charleville (abajo), utilizando un sistema de piezas intercambiables.



El arma que fabricaba Whitney era un mosquete Charleville de un tipo que Francia suministraba al ejército colonial. Consistía en 50 piezas. Cierta número de las que componían el cierre, eran de contorno irregular, y es posible que para éstas Whitney haya diseñado guías y patrones especiales, plantillas de metal para sus taladros, limadoras y fresadoras.

De todas formas, después de muchas demoras y esperas desconsoladoras por parte de simpatizantes y previsores funcionarios de Washington, incluyendo al mismo Jefferson, Whitney empezó a producir en cantidad en 1803. Su fábrica logró una producción de 1000 mosquetes al año, tres veces más que lo que los armeros experimentados podían producir a mano en la Armería del Gobierno en Springfield.

En 1807, su año cumbre, produjo 2.000, señal de triunfo para la insistencia de Whitney de que se podían diseñar máquinas que, según sus propias palabras: *«evitaran la necesidad de que cada obrero fuera competente en el asunto»*.

Todos los que aplicaron el sistema de Whitney de piezas intercambiables a su propia fábrica o taller, transformaron una industria. Alrededor de 1807, Eli Terry, un vecino de Connecticut, aceptó un pedido para servir 4.000 relojes de madera. Los ciudadanos de Plymouth le creyeron chiflado. Pasó un año equipando su taller, instalando tornos, sierras y plantillas para cortar, serrar y dar forma a las piezas de madera intercambiables. En el segundo año produjo 1.000 relojes, el tercer año 3.000.

En 1850, más o menos, las piezas estandarizadas producidas en la cantidad que los pedidos requerían, simbolizan la activa práctica industrial de los EE. UU.

La máquina empezó a aparecer como una especie de cuerno de la abundancia, estruendoso, brillante y fácil, la mágica clave de un caudal que permitía a los fabricantes suministrar a las ávidas hordas de consumidores nacionales y extranjeros los productos de la empresa yanqui: el revólver Colt, la segadora

McCormick, la cerradura de banco Day & Newell, la máquina de coser, la máquina de escribir, la bicicleta, y, finalmente, el automóvil universal.

No fue tan sencillo, como es natural. A pesar del milagro del sistema de piezas intercambiables, ni Whitney, Colt ni los demás, hubieran podido jamás desenvolverse sin algunos progresos más, independientes, pero de efectos recíprocos. Uno de ellos fue el invento, a principio del siglo XIX, de nuevos métodos de producir y trabajar el hierro, acero y latón. Estos métodos hicieron posible la fabricación de maquinaria metálica, que a su vez hizo posible la fabricación en serie de piezas de metal para otras máquinas.

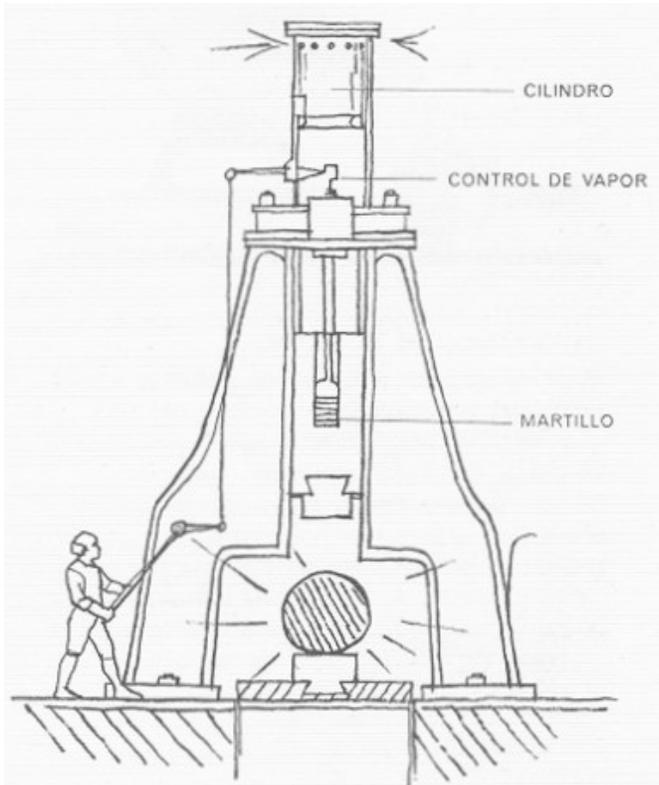
Otro fue el desarrollo de la capacidad para conseguir grados todavía más finos de precisión en las máquinas y en las piezas de máquinas. El socio de James Watt, llamado Matthew Boulton, estaba encantado en 1776 al recibir las entregas de cilindros para las máquinas de vapor, cuyo calibre no acusaba un error mayor «del grueso de un chelín de los antiguos». Ya en la época de Whitney, 25 años más tarde, las máquinas americanas podían producir partes de un mosquete, de bastante complicación, que encajasen perfectamente sin tener que utilizar apenas la lima.

Quizá lo más importante era el continuo desarrollo de las máquinas para hacer frente a las demandas de la misma producción en serie. Había las «máquinas-herramientas» o «máquinas que hacen máquinas»: los tornos, trituradoras, cortadoras, moldeadoras, cepilladoras, fresadoras, taladros, ranuradoras, martinetes y punzadoras que tallaban, molían, perforaban, golpeaban, prensaban, raspaban y cepillaban las piezas de hierro y acero que se habían de montar en otras máquinas.

Maestría en un martinete

En 1839, por ejemplo, los planos del vapor Great Britain requerían un eje de hierro para las ruedas de paletas de 75 cm de diámetro que tenía que estar forjado a martillo sobre un yunque. Los martinetes anticuados movidos por fuerza hidráulica no podían elevarse lo suficiente; la fuerza del golpe no podía controlarse. Uno de los constructores más importantes de máquinas-herramientas en el Reino Unido, de

origen escocés, James Nasmyth, resolvió el problema inventando un poderoso al mismo tiempo que sencillo martinete de vapor que había de ser su obra maestra.



PODEROSO PRODUCTOR EN SERIE. Por cuenta propia, James Nasmyth, inventor del revolucionario martinete a vapor, fijó sus características en menos de una hora. Su diseño muestra dos soportes para guiar el martillo que sostienen un cilindro encima, cuyo pistón iba unido a la cabeza del martillo. La admisión de vapor en el cilindro elevaba la cabeza del martillo y al soltar la válvula de vapor, el operario hacía caer el martillo violentamente sobre la forja.

Más adelante, Nasmyth aumentó su potencia haciéndolo de doble acción. El martinete extendió el radio de acción de las forjas para la industria pesada, permitiendo la fabricación de plancha de hierro y vigas.

Otra figura cumbre británica en el progreso tecnológico fue Henry Maudslay, que empezó su carrera a los 18 años como herrero en el Arsenal de Woolwich. Era un maquinista creador, que utilizaba sus herramientas como un pintor sus pinceles o un escultor su escoplo. Uno de sus oficiales dijo de él en una ocasión: «*Era un placer verle manejar una herramienta de cualquier clase, pero era magnífico con la lima de 18 pulgadas*». Maudslay consiguió la inmortalidad en la historia de las máquinas, elevando el torno a la categoría de la más vital máquina-herramienta de su tiempo y de entonces hasta hoy. Sus dos principales mejoras consistieron en la construcción metálica en su totalidad y un carro movable que sustituyó a las manos humanas en la tarea de sostener la herramienta en una especie de tornillo-

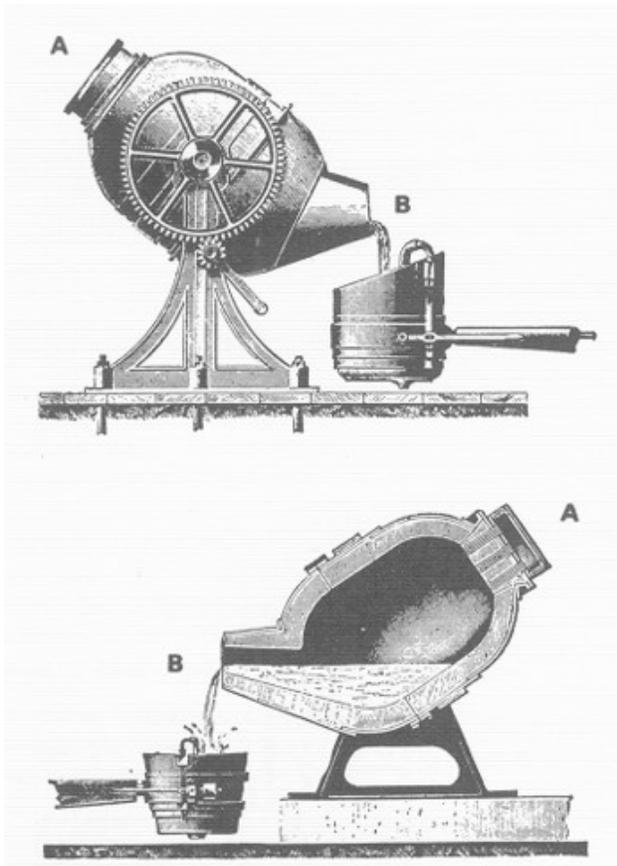
abrazadera mientras cortaba la pieza trabajada, que giraba. Las manos pueden moverse, aflojar, compensar con exceso, apretar demasiado fuerte. Desde entonces fue posible una precisión constante.

Una vuelta más para el torno

A pesar de lo importante que era, el carro movable de Maudslay pronto dejó ver su fallo: no podía sostener más que una herramienta cada vez, y para cambiarla el tornero que tenía que parar el torno, instalar la siguiente y ponerlo en marcha de nuevo. Alrededor de 1850, tres americanos, Frederick W. Howe, Richard S. Lawrence y Henry D. Stone, diseñaron un torno en el que este carro movable fue reemplazado por una torreta vertical giratoria, que podía sostener hasta ocho herramientas cortantes. Firmes en su posición antes de proceder al trabajo, se podían utilizar a medida que eran necesarias, simplemente haciendo girar la torre.

Lo que América había progresado en la senda tecnológica en el transcurso de un breve siglo quedó espectacularmente afirmado en la Nave de Maquinaria de la Exposición del Centenario de Filadelfia de 1876. Reluciente de candelabros niquelados, latiendo con el estruendo de las ruedas y ejes que giraban en unas 8.000 máquinas, desde la máquina de vapor Corliss de 2.500 caballos hasta las diminutas máquinas de coser de 30 cm cuadrados, el edificio de madera y cristal, que ocupaba más de cinco hectáreas, hipnotizaba a nativos y extraños por igual. Un periodista alemán dijo en su reporte: «El elemento esencial en la vida de los norteamericanos, la MÁQUINA, que les ha permitido reemplazar el trabajo manual fatigoso, para producir en serie todo... está aquí presentado en forma avasalladora». Lo expuesto mostraba «el cuadro de una carrera loca... tras las ganancias materiales. ¿Pero quién puede negar, concluía, que aquí hay grandeza y fuerza?».

Dondequiera que un industrial americano se presentaba en las décadas de 1870 y 1880, encontraba confirmación del adagio de Ben Franklin que «el tiempo es oro».



UN AVANCE EN EL ACERO. El acero empezó a suplantar al hierro en las máquinas y estructuras de mitad del siglo XIX cuando se encontró la forma de producirlo en cantidad. En Inglaterra, Henry Bessemer, inventó un convertidor (visto lateral arriba, en sección abajo) que hace pasar una corriente de aire desde una «caja de vientos (A) a través de la fundición de lingotes de hierro mientras el convertidor está boca arriba; se quema el carbono del hierro, dejando el acero. El acero se vierte por la boca (B).

Las máquinas y el acelerar la producción era reducir los costos. Nuevas máquinas de hilar, torcer y comprobar el hilo de seda redujeron de 4,50 dólares a menos de un dólar el costo de convertir una libra de seda cruda en material dispuesto para el telar. Nuevas máquinas de coser, redondear, ribeteadoras y otras especializadas dieron el acabado a millones de pares de zapatos, que se vendían al precio ínfimo de dos dólares. Las ganancias de las máquinas en los campos de trigo y maíz eran todavía más fantásticas. Poco tiempo antes, un labrador caminaba trabajosamente por un surco con un saco de semilla de maíz colgado alrededor del cuello, midiendo tres granos por montículo; ahora, con la máquina, plantaba dos hileras a la vez y un total de 5 a 6 hectáreas por día.

Mientras el trabajo de la máquina reemplazaba al trabajo manual, vino el aerodinamismo del proceso físico de la misma producción. Y aquí se asentaron los principios de la línea de montaje.

Una línea de montaje integra las acciones del hombre y de la máquina, y les impone una disciplina de tiempo-movimiento que algunos llaman tiranía. La línea une al

hombre y a la máquina en una especie de supermáquina cuya ciega función mecánica es el producir una incesante serie de productos estandarizados. Sea el producto pan o bombarderos, el principio máximo en función es el movimiento, el movimiento regular, incesante, del producto a través de sus etapas sucesivas, desde la materia prima o sus componentes hasta el producto acabado, mientras los humanos o las máquinas, o bien ambos, estacionados a lo largo de la línea, le hacen algo al tiempo que va pasando.

Viajes de un cerdo

El principio de fluir por línea se estableció primero en la preparación de materias alimenticias, después de la guerra civil. Las materias primas eran ligeras, relativamente fáciles de manejar, fáciles de trasladar en una línea en movimiento; los productos terminados podían salir de la fábrica por carretadas, en calidades y envases estandarizados: hogazas de pan, sacos de harina, latas de carne. Durante el mismo período los conserveros de Cincinnati, ciudad conocida entonces por «*Porkopolis*», empezaron a hacer uso de las grúas de techo para transporte. Los cerdos eran sacrificados, escaldados y raspados, después colgados por los tendones de la corva en transportadores montados en un rail sujeto al techo. De este modo, las carcasas pasaban de un operario a otro, para ser abiertas en canal, vaciadas, lavadas, inspeccionadas, selladas y transportadas a los frigoríficos.

Al extenderse el sistema a otros preparadores de alimentos, los precios para el consumidor se vinieron abajo. El senador de Missouri, George Vest, dijo en 1890: «Hace años, los alimentos en lata eran cosa de lujo, pero hoy son el alimento de los pobres, siendo más baratos en lata que en fresco».

La idea de fluir por línea también llegó a la industria pesada. Los ingenieros de producción, enfrentados con lo que parecían horarios de máquina irreductibles, buscaban ahora el acelerarlos por medio de la eliminación de cualquier esfuerzo inútil por parte de los seres humanos. Armado con un cronógrafo, Frederick W. Taylor se cercioró que los paleros de carbón de la Bethlehem Steel trabajaban al máximo, el peso parecía ser el justo, cuando la paletada pesaba nueve kilos y medio. Desde entonces en Bethlehem se usaron palas que cargaban nueve kilos y medio.

El equipo de los esposos Frank B. y Lillian M. Gilbreth estudió la estructura, forma y geometría de la gente trabajando, cirujanos, jugadores de pelota, albañiles. Gilbreth les sujetó luces en las manos y los fotografió; después hizo modelos de alambre de los recorridos luminosos puestos en evidencia por la fotografía, con objeto que los sujetos pudieran estudiar sus propios movimientos y hacerlos más eficaces. Al descubrir que los albañiles se doblaban cada vez que recogían un ladrillo, Gilbreth recomendó plataformas que los pusieran en un lugar de fácil alcance; la colocación subió de 1.000 a 2.700 ladrillos al día.

Un punto culminante de brujería

La actual línea de montaje misma surgió inequívocamente en 1913 en la fábrica de automóviles de Highland Park, del brujo automovilista Henry Ford, con ayuda de Charles E. Sorensen (Carlitos de hierro-colado), y otros productores, quienes finalmente consolidaron la línea en lo que es hoy. El coche de que se trataba era el histórico modelo T, que estaba hecho de unas 5.000 piezas intercambiables y estandarizadas, según Ford anunció, en cualquier color del arco iris, «siempre que sea negro».

Muy pronto después de empezar, Ford llevó a cabo el principio número 1 de la línea de montaje: llevar el trabajo al operario en vez del operario al trabajo. También estableció dos procedimientos de eficiencia que se remontaban a los primeros estudios de Taylor y Gilbreth: ningún obrero tenía que dar más de un paso, si se pudiera evitar; ningún obrero tenía que inclinarse jamás. Un hombre, haciendo el trabajo de principio a fin, había montado una magneto en 20 minutos. Cuando Ford repartió el trabajo en 29 operaciones distintas, el tiempo de montaje descendió a 13 minutos y 10 segundos. Cuando se elevó la altura de la línea en 20 cm, poniéndola a un alcance más conveniente, se redujo a 7 minutos.

El montar un chasis por el sistema de tenerlo parado, había llevado 12 horas y 28 minutos. Cuando el chasis fue colocado a la altura de la cintura y se hizo pasar a la velocidad apropiada por delante de los obreros de montaje, el tiempo descendió a 1 hora y 33 minutos. La línea se movía a razón de dos metros por minuto a través de 45 estaciones. «Los primeros hombres, escribió Ford, sujetan al bastidor del chasis cuatro soportes de guardabarros; el motor llega en la operación décima... El

hombre que coloca una pieza no la sujeta... el hombre que coloca un tornillo no le coloca la tuerca; el hombre que coloca la tuerca no la aprieta. En la operación número treinta y cuatro el incipiente motor recibe la gasolina; ha recibido su lubricante... y en la operación número cuarenta y cinco el coche sale en marcha a la calle.»

Tanto Ford como el nuevo y ferviente público motorista, tenían razón para estar satisfechos. Al elevarse la producción de 78.440 en 1911-1912 hasta 785.432 en 1916-17, el precio del modelo T descendió de 690 dólares a 360, un salto del 47 por ciento.

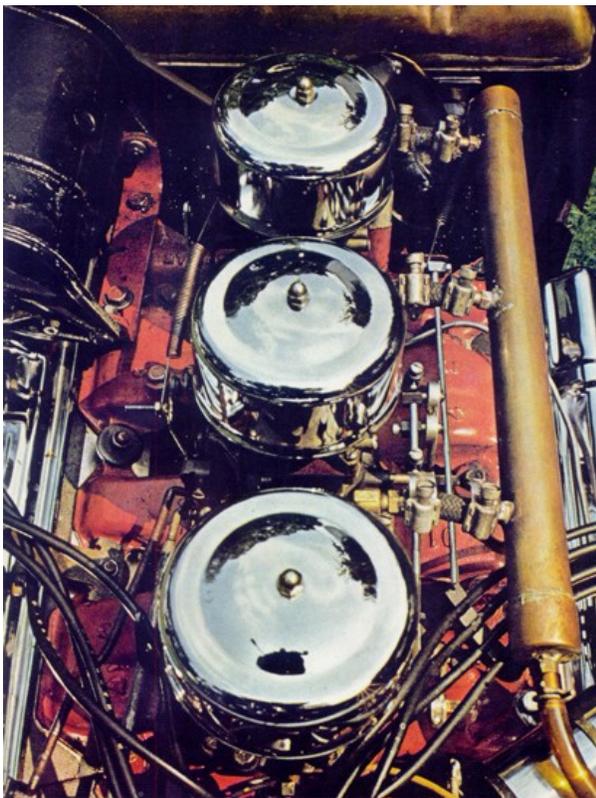
De Ford en adelante, tanto los productos como las líneas de montaje se han multiplicado sin cuenta; los fabricantes americanos de máquinas-herramientas, producen máquinas que hacen máquinas por valor de más de 70 millones de dólares cada mes.

La línea de montaje, la supermáquina, no ha llegado, ni mucho menos, a su punto final de desarrollo. Por su misma naturaleza, tiene una tendencia innata hacia una mecanización posterior, hacia una automatización total. Esta tendencia es orgánica, aunque parezca extraño, y para mucha gente en grado amenazador, como buscar a tientas un inmenso ser para que alcance mayor tamaño, e incuba nuevos desarrollos propios, produce nuevas situaciones, levanta progenies molestas. ¿A qué se parecerá la supermáquina del futuro? Algo, sin duda, compuesto de calor, electricidad, energía como la solar, acero, alambre, carretes, cintas magnéticas, circuitos computadores. La respuesta precisa está más adelante, pero caminamos hacia ella como con brillantes y grandes alas fabricadas a máquina.

La belleza de las máquinas funcionando

«Se adora a las máquinas porque son hermosas, se las aprecia porque confieren poder.» Así escribió el filósofo Bertrand Russell en 1928. Desde entonces la Revolución Industrial ha cambiado para siempre los patrones de la vida y de la sociedad; los poetas han alabado la belleza de las máquinas. Ya en 1804, William Wordsworth utilizó la imagen de una máquina para describir una mujer hermosa: «Y ahora veo con ojos serenos el mismísimo pulso de la máquina».

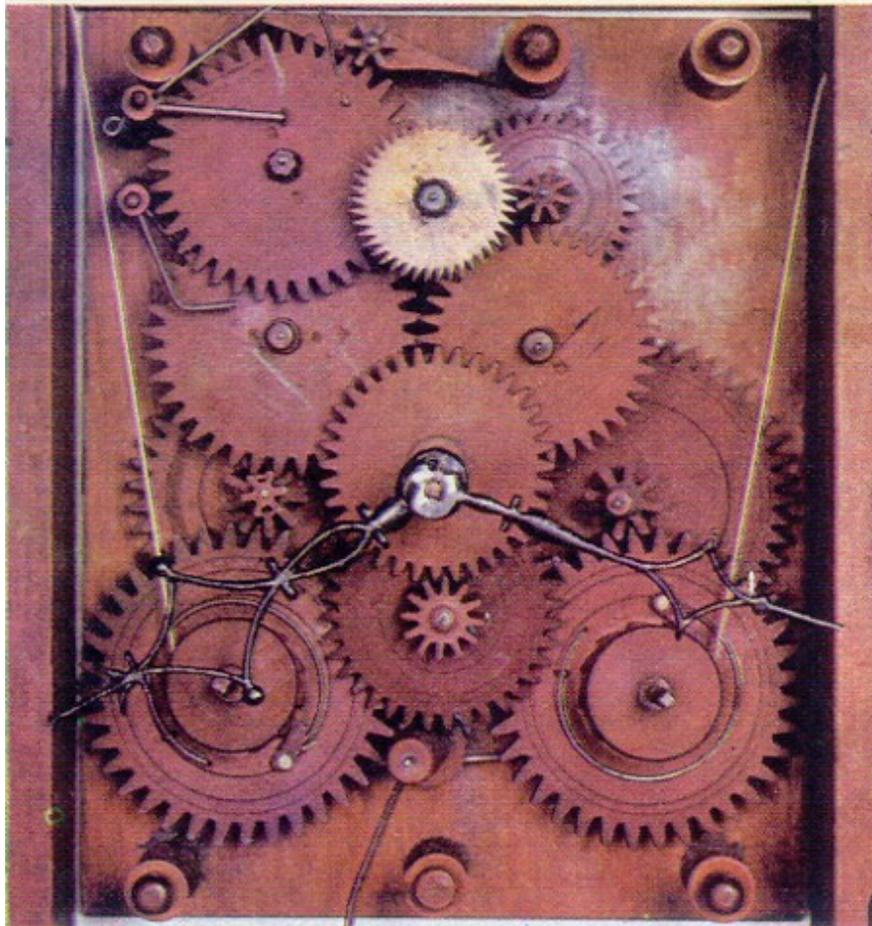
No es menos hoy; la fuerza y la belleza de la máquina en funcionamiento nos emociona. El motor de un coche de pruebas de aceleración arranca con gran estruendo y una caterva de jovencitos le despide alborozados. Un avión a reacción gime al deslizarse por una pista y la terraza de observación está abarrotada de espectadores que contemplan el despegue. Una grúa de construcción iza una viga de doble T para colocarla en su sitio y docenas de mirones de acera tienen un sentido de participación. Aquí y en las páginas siguientes hay algunas impresiones fotográficas de la belleza de la máquina, que el lector podrá observar.



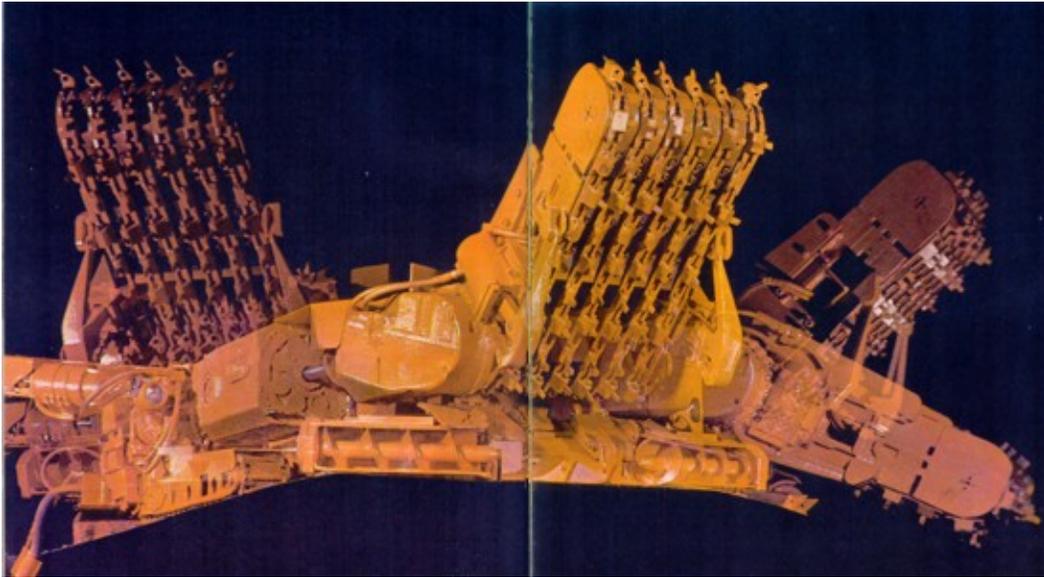
LA ORGULLOSA CONSTRUCCIÓN DE UN JOVEN. Modificado y restaurado amorosamente, el motor de un coche de pruebas de aceleración, reluce de cromo, cobre y pintura fresca. Construido por Bobby Wilner, de 18 años de Port Chester, Nueva York. Tiene un chasis de un Ford de 1930, el motor de un Oldsmobile de 1958. La sustitución de piezas (tres carburadores Chevrolet) lo transforman en un motor nuevo.

PATRONES EN PASTEL, DE SEDA BRILLANTE Y ANGULOS DE HIERRO

Con el destello de un borrón de brillante color, una anticuada máquina de hilar prepara seda cruda recién teñida para pasar al telar en Fou Wah, fábrica de tejidos en Hong Kong. En una combinación fascinante de brazos huesudos y pesadas ruedas de hierro, la hiladora repiquetea ruidosamente mientras suelta un hilo continuo de seda acabado, procedente de las madejas en las ruedas. La etapa siguiente para el hilo, es el telar en donde es tejido.

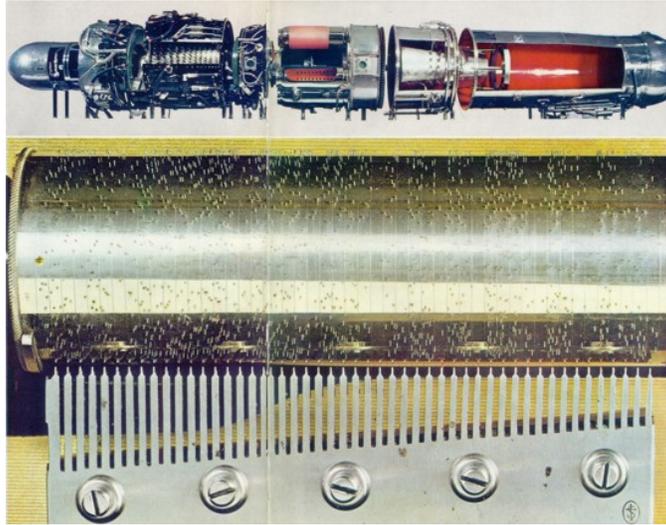


Una combinación de engranajes en un reloj Seth Thomas, del 1800 poco más o menos, es un estudio de disposición y diseño. Excepto el volante de escape de metal en lo parte superior centro, todos los engranajes son de modera, montados sobre un bloque de roble. Cada engranaje gira sobre su propio eje, engranando con todos los demás.



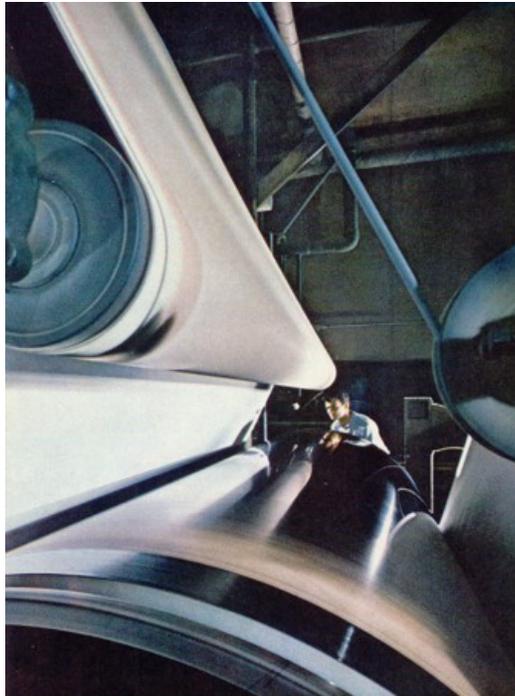
"MASCANDO" UNA VETA DE CARBÓN POR UN SISTEMA MODERNO. Encabritándose como un hambriento dinosaurio que está al acecho, este monstruo anaranjado es el sustituto mecánico del pico de un minero de carbón. Cuando la máquina avanza con estruendo, movida por fuerza eléctrica, sus seis hileros de dientes destripan las vetas de carbón bajo tierra con feroz eficiencia a razón de cinco toneladas por minuto. Esta exposición múltiple, muestra sus fauces, que funcionan hidráulicamente, en varias posiciones.

MÚSICA DE MÁQUINAS A UN SIGLO DE DISTANCIA

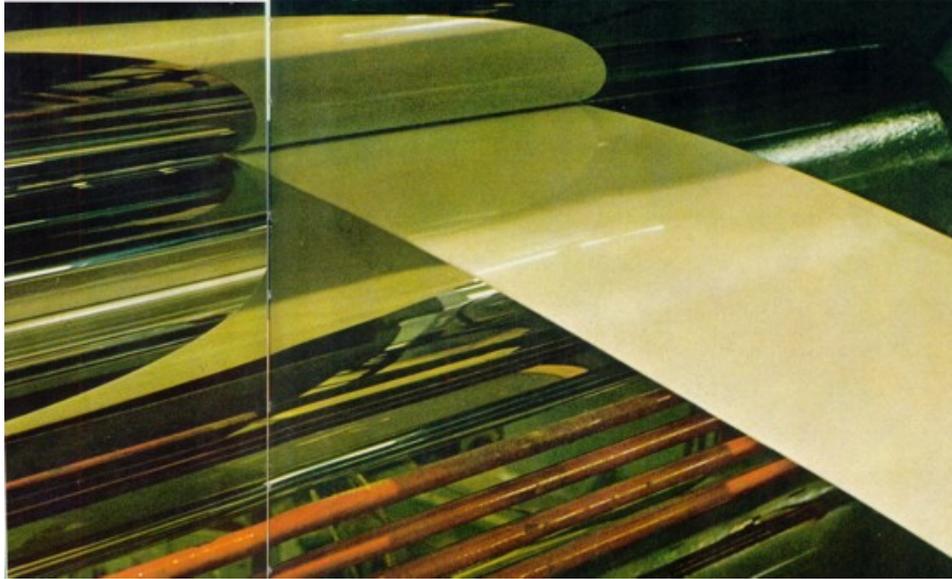


Incluso separado en secciones, para poder exhibirlo, un motor de propulsión a chorro (arriba) es una pulida y compacta obra maestra de diseño moderno. Desde el compresor con el torbellino de sus 12 series de paletas, hasta la cavernosa cámara del post-quemador al extremo derecho, este turborreactor J47 de la General Electric, simbolizo el movimiento. Este erizado rastrojo de bigotes de metal en el rodillo, (abajo), es el corazón de una elegante caja de música del siglo XIX. Es un brillante reflejo de la habilidad artística del obrero suizo. Cada clavo del cilindro giratorio va colocado precisamente para que haga sonar la nota que corresponde en el momento preciso cuando pasa por el teclado en la parte inferior.

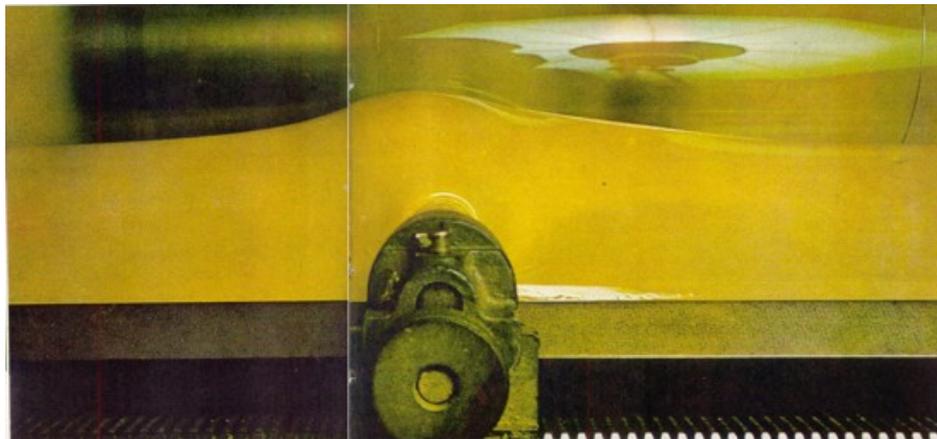
UNA RELUCIENTE COLECCIÓN DE CILINDROS



En un fino equilibrio de tensión, los pesados cilindros de un rebobinador de papel enrollan un tejido de papel recién fabricado a un ritmo de más de un kilómetro y medio por minuto



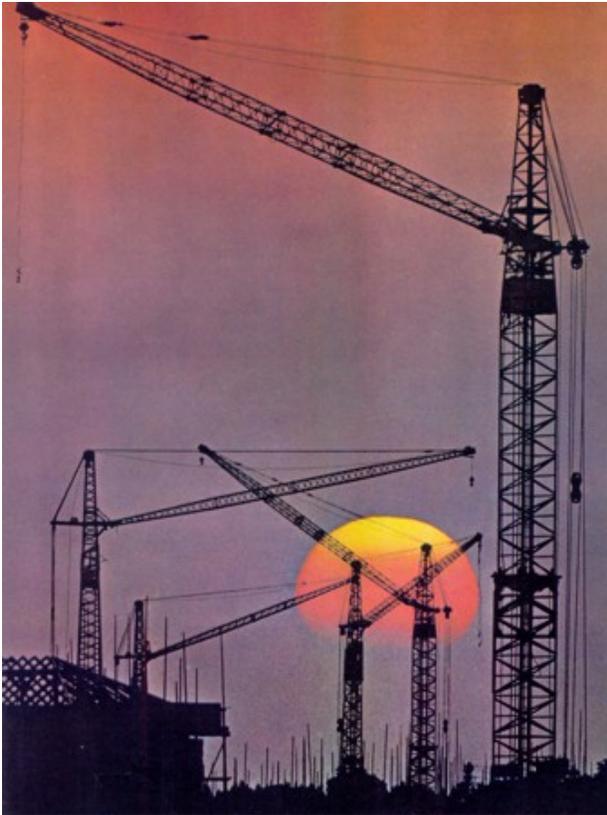
Una lámina interminable de plástico de múltiples usos se refleja en dos relucientes cilindros al pasar zumbando por una máquina de acabado en una planta manipuladora en Chester Run, Delaware. El perfecto acabado de los cilindros cromados proporciona una superficie lisa en el plástico. Las barras rojas son un mecanismo de seguridad.



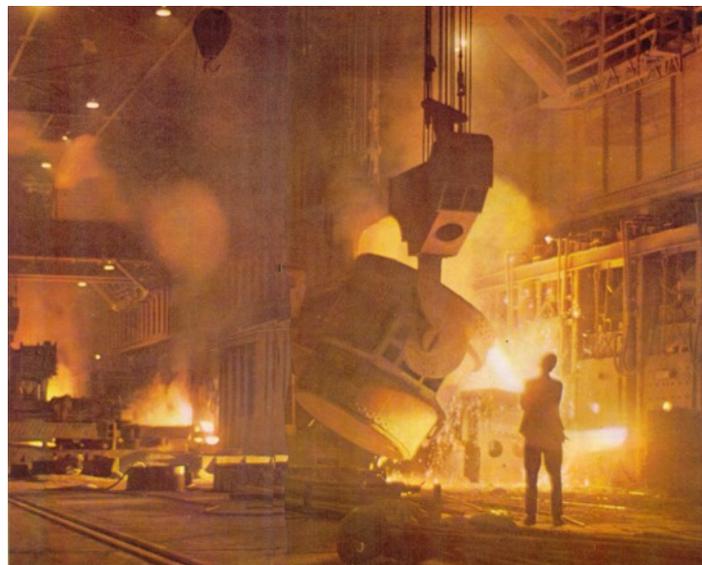
Al enfocar una pequeña sección de una gigante máquina tipográfica Harris-Cattrel, la cámara recoge aquí una naturaleza muerta rica en color, forma y textura. La viscosa tinta amarilla es alisada en su «tintero» por un distribuidor que se mueve por medio de un engranaje. El brillante cilindro recoge la tinta del tintero y la distribuye a los cilindros impresores.

FUERZA BRUTA Y ELEGANCIA GEOMÉTRICA

Como los mandíbulas de uno cucaracha depredadora, los fuertes tenazas de un cargador de madero manejan dos inmensos troncos cortados en un bosque de Oregon. Las tenazas, movidas por fuerza hidráulica, se utilizan para cargar los remolques de los tractores que transportan los troncos o un río cercano, donde flotan en grandes balsas



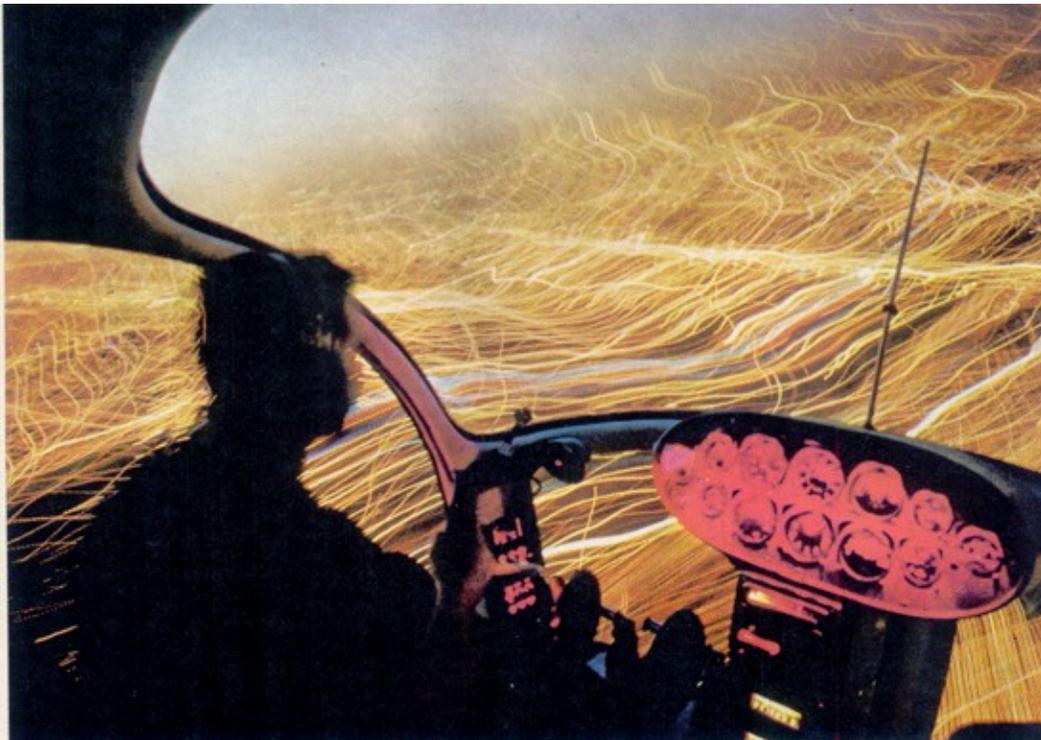
Con rígido geometría de línea y ángulo, cinco grúas de construcción perfilan sus sobrias siluetas sobre el sol poniente. Poderosas aplicaciones de la palanca y lo polea, las grúas se cuentan entre las más antiguas máquinas complejas del hombre. Los que se ven aquí, están en un solar de Munich y pueden levantar pesos de 110 toneladas.



UNA FOGOSA CASCADA DE METAL FUNDIDO. Esta escena infernal de máquinas monstruosas y deslumbrante fuego es parte del proceso creador del acero, carne y hueso de la era de la máquina. En un horno de cubilote bajo en Middletown, Ohio, un inmenso caldero de colada vierte 100 toneladas de hierro fundido en el horno, mientras que la brillantez del fuego forja de un obrero una figura satánica.

Capítulo 5

El mundo acelerado de la combustión interna



CONGESTIÓN Y COMBUSTIÓN. Por medio del automóvil y del avión el motor de combustión interna, no sólo puso fin al aislamiento del hombre de sus congéneres, sino que con frecuencia les ha juntado demasiado para que resulte cómodo. Intentando desenredar un embotellamiento nocturno de tráfico en Los Ángeles, el piloto de un helicóptero transmite los retrasos y atascos.

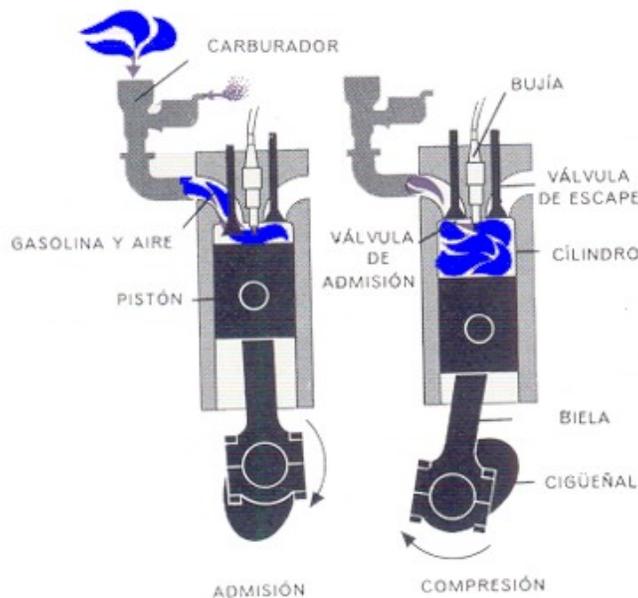
No hace mucho tiempo que una comisión del Senado que estudiaba el impacto de la tecnología sobre la política exterior, redactó un informe que presentaba cuatro mapas. Puestos uno al lado del otro, estaban destinados a mostrar, en términos de tiempo de viaje, el tamaño relativo del mundo desde los tiempos de los buques de vela de alrededor de 1840 hasta la era de propulsión a chorro de 1960. El primer mapa tenía el tamaño de una mano. El último era más pequeño que la cabeza de una chincheta.

Dos máquinas, el automóvil y el aeroplano, son responsables de este cambio en las dimensiones de la existencia humana. Nos han proporcionado, naturalmente, una movilidad sin precedentes; durante el año de 1961 solamente los coches y los

aviones nos han transportado 10 billones de kilómetros dentro de este (EEUU) país solamente.

También nos han proporcionado un radio de elección sin precedentes; nos han hecho posible ver más sitios y conocer más gente, ofreciéndonos más experiencias y estímulos.

Los beneficios ya nos son ampulosamente familiares, los detrimentos son más sutiles, pero no menos aparentes. Gracias al «jet», un consejero de Nueva York puede desayunar en su casa, almorzar en San Francisco y, camino de casa, comer en Chicago lenguado de Dover pescado en el Canal de la Mancha el día anterior, servido en una mesa adornada con tulipanes cortados aquella mañana en Amsterdam.



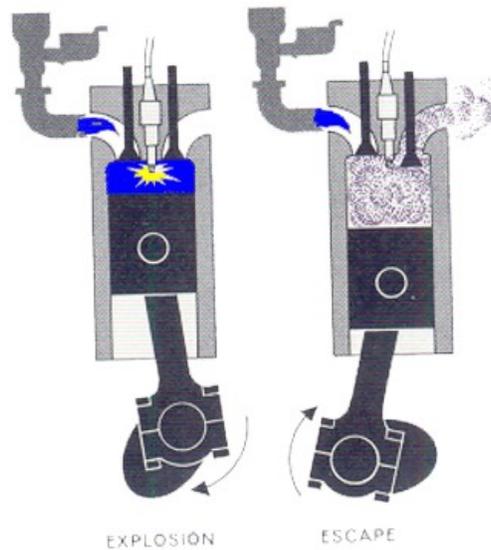
El motor de combustión interna de cuatro tiempos se llama así porque trabaja con una sucesión de cuatro tiempos del pistón en el cilindro. Primero, el cilindro bajo, aspirando una mezcla de aire y combustible del carburador al cilindro o través de la válvula de admisión, abierto. Segundo, la válvula se cierra, el pistón sube comprimiendo el aire y combustible hasta una catorceava parte de su volumen original.

La esposa del obrero de una fábrica puede lo mismo recoger las provisiones para la semana en un centro de tiendas de la autopista como en el colmado de la esquina. Sin embargo, junto a estas maravillas de alfombra mágica, el automóvil y el avión

han traído el desparramamiento urbano, ruido de aeropuerto, y los embotellamientos de tráfico que destrozan los nervios, y la desaparición de más de 100.000 hectáreas de terreno convertidas en carreteras y pistas.

Muchos de nosotros sentimos a veces que las máquinas nos fuerzan a un paso que es más rápido que lo que nosotros estamos biológica y psicológicamente preparados. Pero tenemos una forma y una historia de adaptarnos a los mecanismos. El francés Antoine de Saint-Exupéry dijo que la locomotora en un tiempo era para el sencillito aldeano un humeante monstruo de hierro; sin embargo, ¿qué es hoy... más que un humilde amigo que le visita todas las tardes a las seis?

Los coches y los aviones son tan por completo los símbolos del flujo y tempo de los tiempos modernos que es difícil darse cuenta que su abolengo mecánico se remonta a cerca de dos siglos. El primer vehículo automotor de conducción mecánica para carreras fue diseñado en 1769. Era un tractor de vapor de tres ruedas para el arrastre de cañones, muy pesado de arriba, y cuya caldera sobresalía de forma molesta por encima de la única rueda delantera; parecía, según frase de unos contemporáneos, «una cuba de whisky sobre una carretilla». Su velocidad máxima, 6,5 km. por hora, y tenía que pararse en cada manzana para elevar la presión. Su constructor, un capitán del ejército francés llamado N. J. Cugnot, finalmente estrelló el carruaje contra una pared de piedra.



Tercero, una chispa eléctrica procedente de la bujía enciende el vapor comprimido y origina una explosión que empuja el pistón hacia abajo con una carga de varias toneladas. La biela transforma el movimiento de arriba abajo del pistón en el movimiento rotativo del cigüeñal. Cuarto, la válvula de escape se abre; el pistón vuelve a subir, obliga a salir a los gases del cilindro para prepararlo para el tiempo de admisión y el ciclo siguiente.

Hubo vehículos propulsados a vapor, posteriores y tan pintorescos como el de Cugnot, y hasta tuvieron más éxito, pero el vapor resultaría sólo un remedio temporal para los inquietos que se proponían lograr un transporte más rápido. Una máquina de vapor funciona por combustión externa: su combustible, carbón, madera, aceite, se quema fuera de la máquina. Ya desde los experimentos con pólvora de Christian Huygens en el siglo XVII, el hombre había concebido otra clase de máquina, una que trabaja por combustión interna. En ésta, el combustible tendría que arder o estallar dentro de un cilindro cerrado con un émbolo o pistón movable muy ajustado. La llamarada del combustible crearía gases calientes. Éstos se dilatarían y buscarían una salida. Contra las rígidas paredes del cilindro presionarían en vano. Pero el pistón movable cedería; lo podrían empujar hasta el extremo del cilindro comunicándole su impulsión. Y si el pistón estuviera conectado a una biela y la biela a un cigüeñal y volante, entonces los gases podían hacer girar

el eje, producir movimiento, hacer girar algo. La acción sería como la de un cohete chino, excepto que el cilindro, en vez de estallar, se mantendría firme.

Lo fuerza en un embrollo

El rompecabezas y el reto de la combustión interna persistió casi 200 años antes de volver a llamar la atención de los científicos franceses y alemanes de la mitad del siglo xix, que buscaban un propulsor primario nuevo, más pequeño y más barato de manejar que la máquina de vapor

— «verdaderas unidades de fuerza de la gente», según expresó el profesor Franz Reuleaux —. Estos hombres tenían mucho más sobre que trabajar que Huygens; tornos más perfeccionados y otras herramientas para fabricar las partes móviles; métodos primitivos, pero eficaces, de producir chispas por medio de sistemas de ignición eléctricos. Además, los vanguardistas de la industria del petróleo, como el inglés James Young y el canadiense Abraham Gesner, habían conseguido nuevos combustibles como el aceite de carbón y el petróleo de quemar, que, aunque en principio estaban destinados a la iluminación, prometían el encendido rápido que se necesitaba para la combustión interna.

Con tal tecnología y savoir faire a su favor, finalmente surgió una máquina de combustión interna que funcionara. Mientras el siglo progresaba, esta hermosa máquina, compacta, creadora explosiva de fuerza que surge a la vida obedientemente al oprimir un contacto, adquirió su forma y carácter definitivos. Ponerla en un carruaje y el carruaje por sí mismo transportaría a un hombre calle abajo. Prepararla ingeniosamente en algo así como un deslizador, hacer girar velozmente una hélice, y pronto las alas de madera y tela de la nave harían ascender a un hombre por los aires. Finalmente, esta pequeña máquina, multiplicada por millones, proporcionaría a los americanos más de 12 mil millones de caballos por año.

El primer avance significativo hacia este fin llegó en 1860, cuando el inventor francés Étienne Lenoir construyó un motor de combustión interna pequeño, de un solo cilindro, en el cual se inyectaba gas, primero en un extremo del cilindro horizontal, y después en el otro. Unas puntas de alambre dentro del cilindro recibían la corriente eléctrica de una batería y proporcionaban las chispas para la ignición de

la mezcla de combustible. Las pequeñas y reducidas explosiones empujaban el pistón dentro del cilindro adelante y atrás, como una pelota de tenis en una jugada rápida. Una biela unida al pistón impulsaba una manivela que hacía girar un volante.

Dos años más tarde, otro científico francés, Alphonse Beau de Rochas, escribió su análisis de la máquina que es ahora clásico, en el que estableció el principio del ciclo de cuatro tiempos. Este principio fue aplicado con éxito considerable en 1876 por dos mecánicos alemanes, N. A. Otto, un autodidacta, hijo de un posadero, y su socio Eugen Langen.

El primer motor de cuatro tiempos de Otto, el silencioso Otto, quemaba gas de carbón. Consumía menos de la mitad de combustible que el motor de Lenoir, marchaba doble de prisa y era, sin duda, la fuente de energía ideal para los molinos pequeños, talleres, imprentas y otros establecimientos demasiado modestos para poder permitirse el uso del vapor. Otto y Langen, al poco tiempo, habían vendido 35.000 de sus motores.

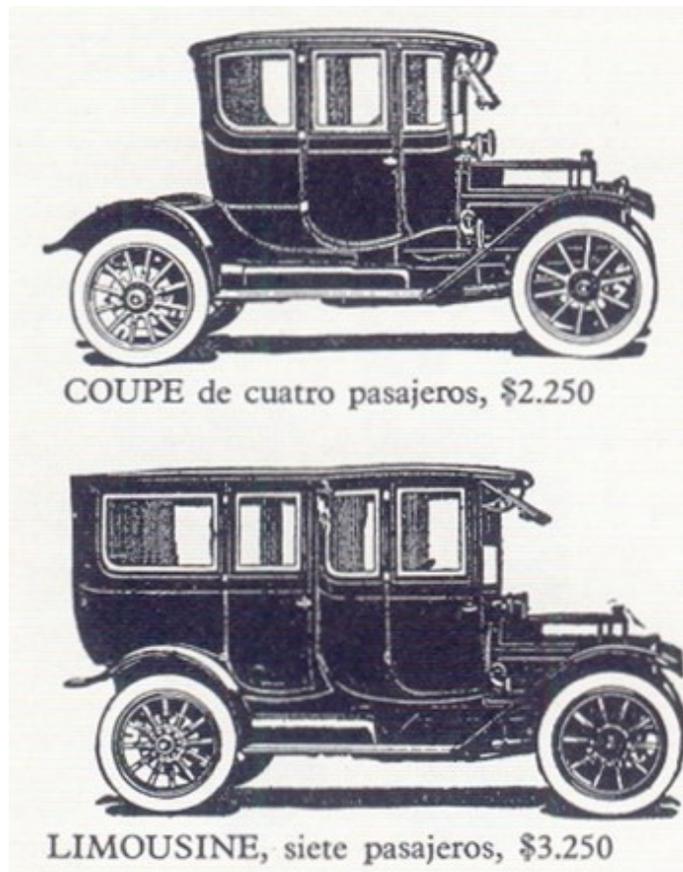
El ciclo de cuatro tiempos es todavía el principio básico de funcionamiento de la mayor parte de los motores de combustión interna. En el carburador, que es en esencia un atomizador, la gasolina se mezcla con el aire formando una pulverización explosiva como si fuera neblina. La mezcla va por un tubo al cilindro, que está equipado con un pistón movable; una biela une el pistón a un cigüeñal con un volante. Al bajar el pistón en el cilindro hace girar el eje; a su vez el eje que gira hace mover el pistón arriba, abajo y arriba otra vez. Así pues, el ciclo del pistón consiste en cuatro movimientos (de aquí ciclo de 4 tiempos), dos hacia arriba y dos hacia abajo.

Proclamación de un padre orgulloso

El hombre que puso en la carretera el primer motor útil de combustión interna fue un alemán llamado Karl Benz, que por este hecho había de ganarse el espaldarazo de la historia como «padre del automóvil». El coche Benz que apareció en 1885 era, como el artefacto a vapor de Cugnot, un triciclo, pero con el motor en la parte posterior, detrás del único asiento, y la carrocería era ligera, con ruedas grandes de radios finos. El motor de un cilindro, de cuatro tiempos, quemaba bencina; a la

máxima velocidad hacía girar el eje a 250 revoluciones por minuto (rpm), producía tres cuartos de caballo de fuerza y hacía marchar al automóvil y su conductor por la carretera a unos sublimes 10 kilómetros por hora. La transmisión a la rueda trasera funcionaba como en una bicicleta, por medio de una cadena y piñón. Entre otros detalles había tres que han sido incluidos en el equipo normal de ingeniería automovilística desde entonces: ignición eléctrica, un radiador para enfriar el agua que vuelve a circular automáticamente para evitar que el cilindro se recaliente, y piñones de diferencial, un sistema de engranajes en el eje trasero para regular la diferencia en velocidades de ruedas que se produce cuando un coche toma una curva, lo mismo que ocurre con una fila de hombres en una marcha.

Con el modelo Benz empezó un desfile en constante progresión de coches nuevos y nuevos refinamientos. Al año siguiente, otro mecánico alemán, Gottlieb Daimler, exhibió el primer automóvil de cuatro ruedas, con un eje delantero que giraba sobre un pivote central para guiarlo, y un motor que pretendía el mejor funcionamiento en aquella fecha. El motor Daimler quemaba vapor de petróleo como combustible y producía un caballo de fuerza por cada 40 kilogramos de peso. Siendo todavía más ligero que el motor de Benz, podía alcanzar de 800 a 1.000 revoluciones por minuto y marchar cuatro veces más aprisa.

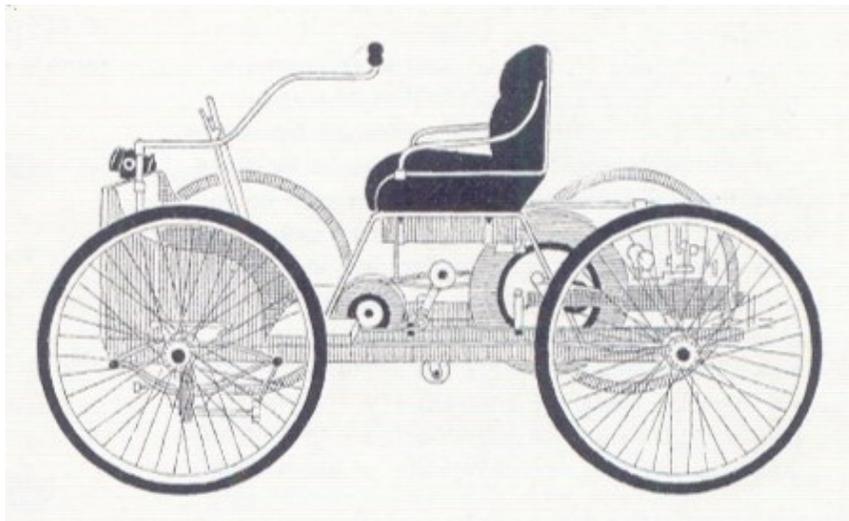


EL CADILLAC SIN MANIVELA DE ARRANQUE. A pesar de la inclinación del público hacia el coche de producción en serie y precio económico, los automóviles de lujo todavía ejercían su tentación, como lo demuestran los precios del anuncio del Cadillac de 1912 aquí reproducido (aquel año el Ford modelo T se vendió a \$590). Sin embargo, estos Cadillac tenían un detalle que les hacía valer lo que habían pagado por ellos sus conductores: tenían el primer arranque eléctrico automático.

El impacto y la emoción de tales descubrimientos no se perdieron en una América que estaba a tono de una manera innata con los avances tecnológicos. Un calesín de gasolina de cuatro HP fue construido por los hermanos Charles E. y Frank Duryea, de Springfield, Massachusetts, y probado con éxito en la carretera en 1893. Al cabo de dos años una publicación nueva titulada *La era sin caballos*, publicaba una lista de nada menos que 73 fabricantes de automóviles experimentales. Pero el público siguió considerando el automóvil como un juguete caro para el «señorito» de gafas y guardapolvo de hilo. Entonces un joven mecánico de la zona agrícola de Michigan, Henry Ford, decidió proporcionar un coche práctico, servicial y barato, para lo que él llamaba «la gran multitud».

Lo que soltó el pájaro del arroz

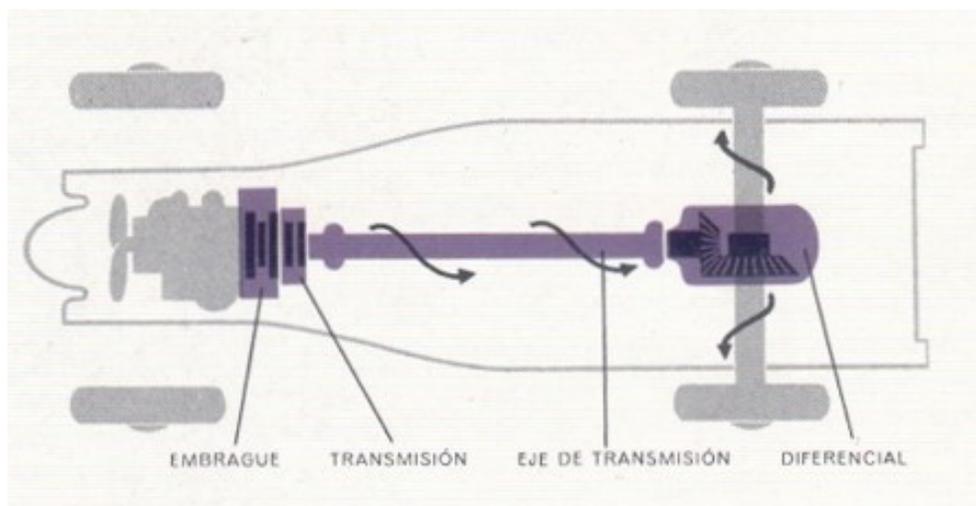
Ford construyó su primer automóvil con éxito en Dearborn en 1896, en la primavera, según recordó él más adelante, porque marchaba en él por la carretera cuando los bobolines llegaron a Dearborn aquel año y «siempre llegan el 2 de abril». Este prototipo Ford tenía un motor de gasolina de dos cilindros, desarrollaba 4 caballos y recorría 100 kilómetros con los doce litros de gasolina que contenía su pequeño depósito. Las ruedas eran de 70 cm y con neumáticos de bicicleta. La fuerza pasaba del motor al eje por una correa sinfín y del eje a la rueda trasera por una transmisión de cadena y piñón.



EL PRIMER FORD DE FORD. El auto original de Henry Ford fue construido a mano en 1896 y era poco más que un calesín motorizado. No tenía frenos ni tampoco marcha atrás. Pero Ford estaba tan convencido de sus cualidades que perseveró y construyó coches de carreras durante algún tiempo, con el doble objeto de aprender el negocio y atraer a los capitalistas. Después de media docena de años de diseñar este chisme, Ford tenía su modelo T en plena producción.

Este artefacto elemental ejercía tal fascinación para Ford, que le fue absorbiendo cada vez más, hasta que en 1899 abandonó su empleo de ingeniería en la Compañía Edison, de Detroit, y se lanzó de lleno y audazmente en el negocio de automóviles. Nueve años más tarde sacó adelante su famoso «coche universal», el modelo T, un modelo fuerte, de cuatro cilindros, alto y casi indestructible, que costaba 850 dólares. No tenía el menor atractivo. Por el contrario, estaba destinado

a chapotear por las cenagosas carreteras de las granjas, tropezando con las piedras y traqueteando a través de la campiña; según proclamó con entusiasmo el mismo Ford, cualquier hombre podría ahora «gozar con su familia de la bendición de horas de placer en los grandes espacios de Dios». La resistencia contra esta máquina extraordinariamente personal, y que pronto había de ser la más codiciada de todas, empezó a derrumbarse. Antes que Ford dejara de fabricarlos en 1927, unos 15 millones de «*Tin Lizzies*» del modelo T, habían salido rodando de la línea de montaje.



HACIENDO GIRAR LAS RUEDAS. El acoplar la fuerza en caballos de un motor para hacer que mueva un coche, requiere un enganche mecánico complejo llamado tren de tracción. En esencia, su misión es transmitir el movimiento rotativo del cigüeñal a la parte posterior del coche y doblarlo en ángulo recto para hacer girar las ruedas traseras, que en la mayor parte de los coches efectúan la tracción. El eje de transmisión lleva la fuerza hasta el diferencial, cuyos piñones hacen girar los ejes y las ruedas. Las otras dos partes principales del tren de tracción, embrague y transmisión, funcionan para variar la velocidad y la dirección giratoria del eje de transmisión y las ruedas.

La aceptación popular del automóvil tuvo nuevos estímulos con la inclusión de algunos perfeccionamientos, tales como los amortiguadores para viajar más cómodamente, el uso de piñones en vez de cadenas para la propulsión de las ruedas traseras, y lo más importante, quizá la única innovación importante desde la década de 1890, el arranque automático inventado por un ingeniero electricista, Charles F. Kettering, en 1911.

Epílogo de un accidente

Hasta entonces los coches se arrancaban a mano, una empresa un poco arriesgada, ya que un motor rebelde podía encender demasiado pronto y hacer girar la manivela con la suficiente fuerza para romper la muñeca al que la empuñaba. En 1910 un motorista amigo de Henry Leland, jefe de la Compañía de Automóviles Cadillac, se paró para ayudar a una mujer a quien se le había parado el coche en el puente de Detroit. El motor dio para atrás, la manivela le aplastó la mandíbula y las complicaciones que siguieron le produjeron la muerte. Leland, profundamente afectado, puso a Kettering a trabajar en el desarrollo de un arranque automático: un sistema eléctrico impulsado por la batería del coche. Los ingenieros pensaban que era imposible construir un motor eléctrico que fuera bastante grande para hacer girar el motor de un coche, y al mismo tiempo bastante pequeño para que se pudiera colocar dentro del capó. Sin embargo, Kettering, con sus colaboradores, a los que llamaba la cuadrilla del cobertizo, hizo el milagro. Unos meses después hizo una demostración en su taller-cobertizo. Oprimió un botón conectado en el nuevo arranque de su Cadillac; con sorpresa por parte de los presentes, el coche se puso en marcha con un rugido.

Hacia el fin de la primera Guerra Mundial había cinco millones y medio de automóviles en Norteamérica, uno por cada 19 americanos. Hacia 1929 había más de 23 millones, aproximadamente uno por cada cinco americanos. A fines de 1963 se calculaban en 82 millones, incluyendo unos 13 millones de camiones y autobuses, alrededor de uno por cada 2 americanos. Además, gracias al ubicuo tractor agrícola, las horas-hombre necesarias para producir unas 100 fanegas de maíz descendieron, entre 1910 y 1960, de 135 a 23; las horas-hombre necesarias para producir 100 fanegas de trigo descendieron de 106 a 17; las horas-hombre necesarias para producir una bala de algodón bajaron de 276 a 77.

Muchos tractores están propulsados por gasoil, sean de dos o cuatro tiempos, pues tiene mayor facilidad de compresión que la gasolina. El motor Diesel, que utiliza un aceite ligero, parecido al petróleo de quemar, es el caballo de tiro pesado entre los motores de combustión interna; se usa extensamente en las locomotoras, camiones, autobuses y toda clase de embarcaciones, desde cruceros de recreo a

buques cisterna. También propulsa generadores eléctricos y máquinas fijas, como compresores de aire y bombas. Este motor fue patentado en Alemania en 1892 por Rudolf Diesel, ingeniero alemán. Un año antes de la primera Guerra Mundial, poco después que su motor empezó a instalarse en los submarinos alemanes, desapareció de un vaporcito del Canal, misterio no desentrañado hasta la fecha.

El motor de combustión interna proporcionó al hombre una máquina que, dentro de una generación, aumentó el número de kilómetros que podía razonablemente cubrir en un día, desde 60 por medio de coche y caballo a 600 por medio del automóvil. También le proporcionó, 18 breves años después que Karl Benz puso el primer balbuceante vehículo a motor en la carretera, algo que había anhelado desde el amanecer de la historia: las alas. Alas desgarradas, primitivas y peligrosas; pero alas, sin embargo, que le permitieron volar y asociarse con el viento y los pájaros.

Un dilema de dinámico

A pesar de todos los cambios que ha producido, el vuelo a motor en naves más pesadas que el aire y con el hombre en los mandos, sólo tenía 60 años de edad en diciembre de 1963. Al principio había dos tropiezos principales: falta de una central de energía que fuera bastante pequeña, bastante ligera y al mismo tiempo bastante potente para mover un aparato más pesado que el aire; y la falta de información adecuada respecto a la dinámica de vuelo, como guiar un aeroplano, hacerlo girar, manejarlo cuando hace viento, mantenerlo derecho y hacerlo bajar.

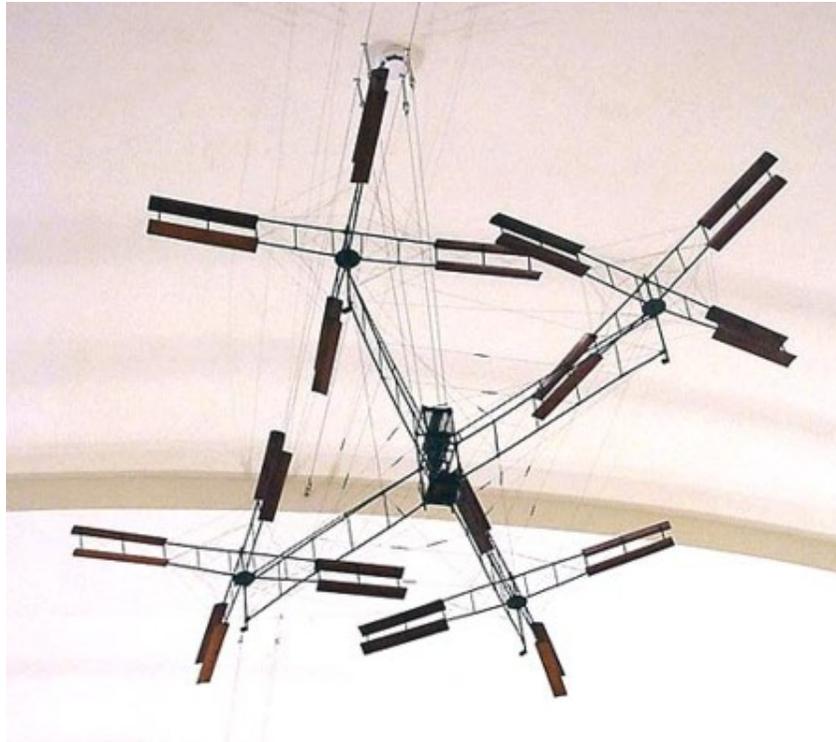
El motor de combustión interna, el Otto Silencioso, con su ciclo de cuatro tiempos, resolvió el primer problema. Otro Otto, Otto Lilienthal, progresó mucho hacia la solución del segundo. Pertenece a una raza del siglo XIX, de espíritus aventureros y tenaces, que insistían en que el hombre podía volar. En 1891, a la edad de 43 años, empezó a construir y pilotar aviones sin motor. En los cinco años siguientes hizo más de 2.000 vuelos, muchos desde una colina hecha por la mano del hombre y con forma de cono, con objeto de poder despegar cuesta abajo en cualquier dirección que el viento aconsejara. Estos viajes aéreos produjeron valiosísimos descubrimientos sobre el poder elevador de las superficies curvas; finalmente, éstas demostraron que la corriente de aire sobre la superficie superior curvada del ala de un avión debe viajar más lejos y, por tanto, más rápidamente para reunirse con la

corriente que va por debajo de la superficie plana inferior del ala, y que, al ir más aprisa, la corriente superior se hace más fina, creando una succión poderosa, y de esta forma proporcionando dos tercios de la «elevación» del ala; el resto procede de la presión de la corriente inferior. Lilienthal pagó caros sus descubrimientos.

En un vuelo de rutina en 1896, el viento hizo volcar su planeador y se destrozó en el suelo. Lilienthal se rompió la columna vertebral y murió.

Otros pioneros mantuvieron en pie su trabajo. El principal de ellos, en América, fue Octave Chanute, un ingeniero industrial nacido en Francia, y el profesor S. P. Langley, astrónomo y secretario del Smithsonian Institute. Allá por la mitad de la década de 1890, Chanute construyó muchos planeadores, y con ayuda de su piloto, A. M. Herring, los probó sobre las ventosas dunas a lo largo de la costa sur del Lago Michigan. Probó aparatos de alas múltiples, de tres y hasta cinco pisos, antes de llegar a la conclusión que el aparato de dos alas, o biplano, era el más seguro.

La complicación de Langley con los aviones fue relativamente breve, y para él un desengaño aplastante. Él también empezó sus experimentos en la década de 1890, construyendo modelos propulsados, primero con anchas tiras de goma, y más tarde con diminutas máquinas de vapor. Algunos de sus aviones tenían una envergadura de más de cinco metros y volaron divinamente sobre el Potomac desde el terreno de pruebas en la orilla del río. Langley se convenció que los motores de gasolina eran el medio de conseguir el vuelo a propulsión. En 1898 recibió el estímulo de una sección que rara vez hace concesiones a la inventiva: el mismo Congreso le concedió 50.000 dólares para que construyera una máquina volante.



EL PRIMER PÁJARO DE REMOLINO. En 1907, menos de cuatro años después del vuelo de los Wright, un ingeniero francés, Louis Bréguet, consiguió elevarse del suelo en este artefacto extraordinario, el primer helicóptero. Llamado «Gyroplane N°1», tenía cuatro rotores biplanos de 7,80 m, movidos por un motor de 45 HP. Bréguet se elevó a un metro y medio del suelo, pero no pudo lograr el vuelo horizontal y tuvo que ser arrastrado.

Después de probar con éxito varios modelos con motor de gasolina, los primeros de su clase que volaron, construyó un monoplano de tamaño grande, propulsado por un motor de cinco cilindros y 53 caballos de fuerza, cuya transmisión de cadena y piñón hacía girar dos hélices. Ante un grupo de escépticos periodistas de Washington, a principios de octubre de 1903, los obreros montaron el avión de Langley en una catapulta sobre su embarcación-vivienda en el río Potomac. Su ayudante, Charles M. Manly, estaba atendiendo a los mandos, sentado y atado. El motor, que había construido Manly, rugió. Un mecánico dio la señal. Las complicadas alas se inclinaron hacia afuera del borde del techo de la embarcación, y el aparato, con las hélices zumbando, cayó con gran estruendo en el río.

Historia en 12 segundos

Convencido que el aparato se había enganchado de alguna forma en el aparejo de lanzamiento, Langley lo reparó y el 8 de diciembre hizo otro intento. De nuevo el aparato cayó lastimosamente al río. Su desesperado inventor abandonó el intento. Nueve días más tarde, en la solitaria playa de Kitty Hawk, en Carolina del Norte, los hermanos Wilbur y Orville Wright tuvieron éxito donde Langley y todos los demás habían fracasado. Su avión, propulsado por gasolina, con Orville en los mandos, se tambaleó en el aire durante unos 12 segundos y voló 40 metros.

Más tarde los Wright pusieron fecha a su obsesión por la aviación, el día en que, en 1878, su padre había traído a casa un helicóptero de juguete.

A los veinte años habían examinado atentamente los libros y papeles de Lilienthal, Chanute y Langley. Habían procedido con método construyendo un pequeño túnel de viento de dos metros de largo y 40 centímetros de diámetro, probando en él más de 200 variedades de superficies de alas. Se imbuyeron de lo que los demás habían aprendido: que las alas de avión combadas, o curvadas, con un ángulo ligeramente hacia arriba sostendrían un avión, es decir, la presión del aire contra estas alas lo sostendría, exactamente igual que la presión del aire contra la cara inclinada de una cometa, la sostiene en el aire. Entonces, si una hélice montada sobre un motor, y con las palas inclinadas en ángulo, fuera montada en las alas y se la hiciera girar rápidamente como un ventilador eléctrico, mandaría una corriente de aire hacia atrás; la hélice de esta forma se propulsaría ella misma hacia adelante y llevaría al avión sostenido tras de sí.

Los Wright estudiaron los pájaros. Vieron cómo los busardos, por ejemplo, mantienen el equilibrio cuando un ala bajaba, retorciendo el ala baja; el aumento de presión sobre el ala los estabilizaba, los nivelaba. Los dos hombres probaron esto con planeadores equipados con alas cuyos extremos podían retorcer o alabear desde tierra por medio de alambres de control. Un segundo triunfo consistió en unir los controles de alabear con los que mandaban un timón móvil en la parte posterior, y por medio del timón hacían girar el aparato a la izquierda o derecha. Los Wright ya habían instalado en el aparato un elevador, una superficie móvil que lo haría subir o bajar; ahora bien, por medio de los controles sincronizados de ala y timón, podían girar el aparato suavemente, inclinando las alas en un gracioso viraje, y después recuperar el equilibrio horizontal.

No hubo oportunidad de volar de esta forma aquel primer día, el 17 de diciembre de 1903, en Kitty Hawk. El aparato era un biplano con fuselaje de madera y alas de lona. Su motor de cuatro cilindros desarrollaba 12 caballos y propulsaba dos hélices montadas detrás de las alas, con la vieja transmisión de piñón y cadena. Hizo cuatro vuelos contra un fuerte viento; el más largo duró 59 segundos y con recorrido de más de 250 metros.

Instrumentos de lo inevitable

Dos años más tarde los hermanos Wright hicieron un vuelo de 38 kilómetros y medio en 38 minutos en un avión con un motor de 24 HP. En 1908, Wilbur voló 122 kilómetros sin tocar tierra. En el siguiente año memorable, Louis Blériot despegó en suelo francés con su monoplano y cruzó volando el Canal de la Mancha hasta Dover en 37 minutos, el primer vuelo internacional en avión. A fines de la primera Guerra Mundial, que estableció al avión como arma nueva y revolucionaria, los aparatos podían volar a más de 240 kilómetros por hora, elevarse a una altitud de más de 8.000 metros, teniendo un radio de 1.600 kilómetros. La conquista solitaria del Atlántico por Lindberg en el Spirit of St. Louis en mayo de 1927, fue un triunfo magnífico de la individualidad. Sin embargo, al mirar hacia atrás, vemos que él y su aeroplano eran instrumentos de lo inevitable. Tras de Kitty Hawk, tenía que suceder forzosamente. Con el desarrollo del avión, éstos perdieron su primitivo aspecto de insectos pesados y desgarrados. Se volvieron más sencillos, más funcionales. Los aviones se hicieron más eficaces, capaces de mayores velocidades y altitudes. Y en esto residía un problema. Pues el motor de combustión interna no estaba a la altura de las nuevas velocidades y altitudes. Un propulsor primario todavía más poderoso era necesario: el propulsor a chorro.

El primer motor de propulsión a chorro, el turboreactor, fue patentado en 1930 por el capitán de grupo Frank Whittle, de las Reales Fuerzas Aéreas Británicas. Pero mientras la Gran Bretaña debatía su utilidad, los ingenieros alemanes dieron un empujón a su desarrollo. En 1939, cinco días antes que los nazis invadieran Polonia, sus pilotos de pruebas volaron en el primer turboreactor, un Heinkel He 178. Varios tipos británicos y americanos aparecieron en el firmamento en los siguientes años de guerra. El avión de propulsión a chorro revolucionó también la aviación comercial

de la posguerra. Cualquiera podía tomar un avión en el aeropuerto de Idlewild y llegar a Honolulu en la mitad del tiempo en que el Twentieth Century Limited tardaba en trasladarse a Chicago tres décadas antes.

Ecos de un globo de juguete

El turborreactor deriva su nombre de la turbina, una rueda con paletas que funciona como un pequeño molino de viento de múltiples aletas, colocada detrás de la cámara de combustión. El motor no tiene hélice. Se llama un motor de «reacción», como el aeolipile de Herón dos mil años antes, porque, como despiden una corriente continua de gases calientes hacia atrás, reacciona moviéndose él mismo hacia adelante. El efecto es el mismo que cuando un niño infla un globo de juguete, lo sujeta por el cuello y luego lo suelta; el aire que sale por el cuello impulsa el globo. Una obra maestra de sencillez, el motor del turborreactor, va encajado en lo que es en esencia un gran tubo hueco; aspira vorazmente el aire por la entrada, lo comprime y después quema combustible dentro de éste. Los gases calientes se dilatan y se lanzan afuera por la parte posterior del tubo.

El motor sólo tiene una parte móvil: un eje motor que se extiende por el centro de un extremo a otro. En el extremo delantero está el turbo o súper compresor. Éste aspira una corriente constante de aire y la comprime, la exprime y eleva su temperatura como en el motor de gasolina, forzándola a través de un laberinto de metal consistente en una serie de hileras de pequeñas hojas, unas fijas y otras giratorias. La corriente de aire comprimido caliente pasa entonces a la cámara de combustión. Un inyector rocía un combustible a través de la corriente. El combustible arde constantemente, como un soplete, produciendo gases calientes a alta presión. Al dilatarse, buscando una salida por la parte posterior de la cámara de combustión, se tropiezan con la turbina y la hacen girar a gran velocidad. Al pasar velozmente a través de la turbina, se encuentran una abertura de escape trasera de tipo de boquilla que eleva su velocidad y concentra su potencia. Salen disparados por el extremo a una velocidad terrible, produciendo un empuje o tracción que a veces equivale a 75.000 HP.

Los cohetes también son motores a reacción, propulsados por gases calientes a alta presión que salen despedidos por su extremo posterior. Hay, sin embargo, una

diferencia importante. El avión de propulsión a chorro depende del oxígeno de la atmósfera, así que no puede volar más allá de los límites de ésta. Por otra parte, el cohete lleva consigo el oxígeno, usualmente en forma líquida, o LOX. Por esa razón es el primer motor, la primera máquina, que no está ligada a la tierra. Hasta una fecha tan reciente como 1946, los cohetes eran ingenios experimentales que humeaban en el caluroso cielo azul encima de White Sands, Nuevo México. Hoy pueden propulsar una cabeza de proyectil atómico a 9.500 kilómetros en 35 minutos. Pueden poner a un astronauta en órbita alrededor de la tierra a 17.500 millas por hora. Han inspirado una nueva técnica del espacio. Han creado una industria de muchos miles de millones de dólares, la cual, por el número de obreros y por la inversión que representa, puede exceder en 1970 a la de todas nuestras industrias automovilistas combinadas.

Las alas del hombre se hicieron en principio de hilo o lona, después, de metal. Ahora son de llamas blancas y le han llevado más lejos que nunca.

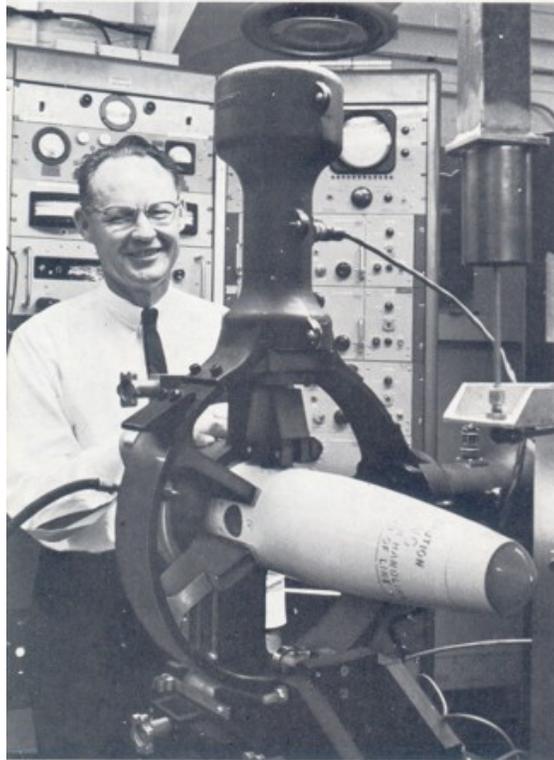
El inventor de hoy, genio enganchado

Los inventores modernos son muy distintos a lo que representaron popularmente sus predecesores, tan distantes, digamos, como el computador electrónico es de la bombilla de luz eléctrica de Edison.



UN CONCEPTO RADICAL DE VIAJES. Scott Rethorst, de la Pasadena Vehicle Rescarch Corporation, tiene en sus manos una maqueta del Columbia, una embarcación que está diseñada para navegar sobre un cojín de aire que soplará hacia abajo a gran presión. Rethorst abogó por el concepto moderno de investigación en grupo, y tiene 40 personas bajo sus órdenes. Su taller recuerda al del inventor de otros tiempos.

En la ruta de la bombilla al computador han hecho una gran mella en el cuadro del inventor como un chiflado solitario, que se olvida de la comida, del vestido y de las diversiones. Aunque todavía existen algunos independientes, la mayor parte de los inventores de hoy trabajan como parte de un equipo en los laboratorios, mantenidos con elevado coste por los gobiernos o la industria privada. Sin embargo, la vieja estampa del inventor les persigue. «*No me llame usted inventor, dice Scott Rethorst. Un inventor es un loco. Yo prefiero que me consideren un científico.*» En las páginas siguientes el fotógrafo de LIFE, Alfred Eisenstaedt, retrata a algunos de los científicos-inventores incesantemente imaginativos de hoy.



PROYECTIL CON UN SOLO OBJETO. El Dr. William B. McLean, director técnico de la Estación de Pruebas de Artillería Naval de los EEUU en Chino Lake, California, está de pie detrás de la unidad de guía del Sidewinder, un proyectil extraordinariamente certero, de aire-a-aire. McLean pasó tres años pensando cómo podía crear el proyectil. Cree importante no empezar demasiado de prisa.

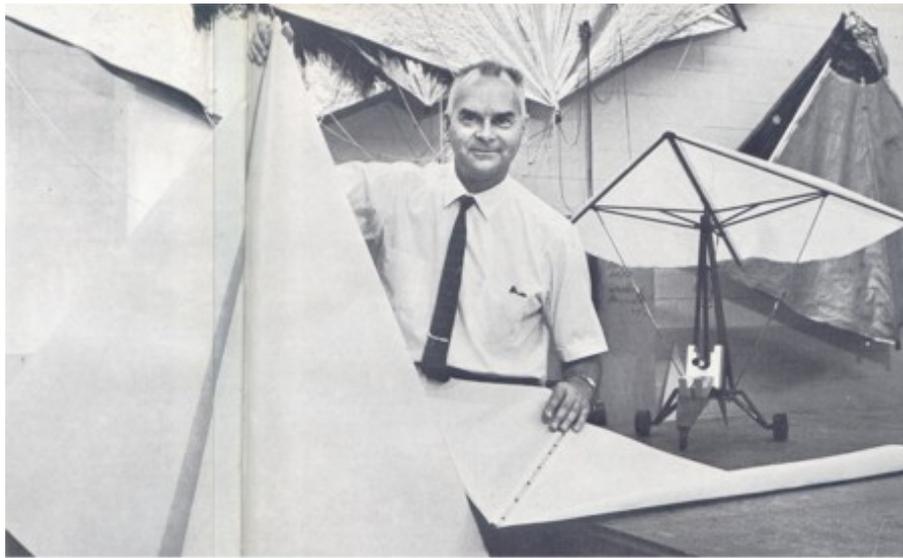
Las recompensas de la inspiración entre la burocracia

Los inventores empleados directamente por el gobierno son una minoría pequeña en su profesión. Sin embargo, el gobierno federal se preocupa activamente del desarrollo de nuevas invenciones, y está metido en un programa para estimular su creación. En el año fiscal 1963, Washington recogió una cuenta de investigación que importaba alrededor de 11 mil millones de dólares. De esta cantidad, 8.5 mil millones fueron entregados a la industria particular y a las universidades; una modesta contribución de dos mil millones fue destinada a facilidades federales.

A pesar de este desequilibrio, los inventores del gobierno han hecho contribuciones importantes, especialmente en los campos de la defensa y del espacio. "Un invento realmente nuevo puede ser un trastorno tremendo para una gran organización", ha dicho el Dr. de la Marina, William B. McLean, inventor del proyectil dirigido

Sidewinder. "Naturalmente desarrolla mecanismos que protegen de tales confusiones."

No obstante, muchos inventores federales han persistido con éxito, especialmente McLean y Francis M. Rogallo, de la NASA. McLean ha recibido un premio de \$25.000 por su trabajo. Además, una disposición del gobierno permite a McLean cobrar derechos de autor del extranjero y tiene ingresos de la producción de proyectiles para la NATO y Alemania Occidental.



ALAS FLEXIBLES PARA MUCHOS USOS Francis M. Rogallo, científico de NASA en el Centro de Investigación de Langley en Hampton, Virginia, exhibe modelos de alas flexibles que pueden tener muchos usos militares. El concepto fue desarrollado en caso, durante los fines de semana. Rogallo y su esposa hicieron modelos con cortinas desechadas. El Gobierno hizo caso de las ideas de Rogallo en 1958.

Rogallo ha inventado un ala completamente flexible que es posible pueda utilizarse para recuperar vehículos espaciales y en la entrega de cargamentos aerotransportados. En 1963, la NASA le concedió un premio de \$35.000.

La libertad del inventor para crear

El inventor, como hombre perteneciente a una organización, es una aparente contradicción. Nadie lo comprende mejor que dos grupos: los inventores que trabajan para las grandes compañías y, afortunadamente, sus jefes. Los inventores que figuran en las nóminas de las compañías, gozan de gran libertad para crear.



COCHE SIN VOLANTE DE DIRECCIÓN. Joseph B. Bidwell, repantigado en el asiento del conductor del «Firebird III», el coche experimental de la General Motors, en el que ha contribuido con el sistema de «unicontrol», una palanca único para guiar, acelerar y frenar el coche, y una suspensión delantera y trasera. Como tantas otras ideas, pueden ser reemplazadas por otros adelantos.

Es un hecho, que son las grandes compañías las que pueden proporcionar a los inventores individuales el tiempo y los fondos de investigación para perseverar en una idea, hasta que fracasa o tiene éxito. “Sólo los individuos tienen ideas. Las Juntas no las tienen”, dice Joseph B. Bidwell, jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica de los Laboratorios de Investigación de la General Motors. “Tras de la etapa de la idea, hay una enorme cantidad de manifestaciones que, bajo un punto de vista práctico, son tan importantes como el invento.”

Es precisamente este enlace de iniciativa individual y el desarrollo de equipo lo que hace la investigación industrial tan atractiva para los inventores de hoy en día.



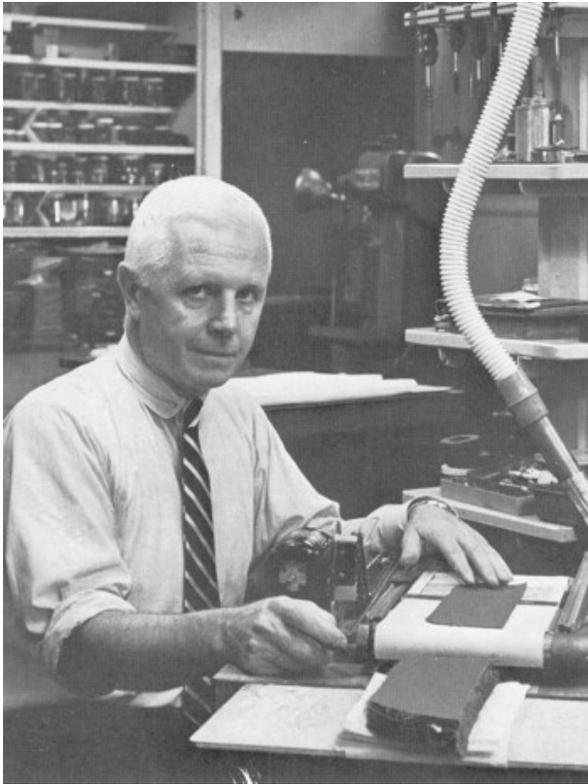
CINTA PARA BIBLIOTECA COMPRIMIDA. El Dr. William E. Glenn, del Laboratorio de Investigación de la General Electric en Schenectady, Nueva York, muestra un carrete de su cinta termoplástica. Además de registrar el sonido, registra las imágenes visuales en color o en blanco y negro por medio de arrugas producidos electrónicamente. Podría registrar la Enciclopedia Británica en un carrete.

De las 49.000 patentes expedidas por la Oficina de Patentes de los EEUU en 1961, unas 34.000, o sea un 69 %, fueron asignadas a compañías. En 1901 la cifra fue de 18,2 %. Para conseguir estas alturas impresionantes, las corporaciones gastaron en el año fiscal de 1963 algo más de 4.7 miles de millones de dólares.

Los independientes: los miles llenos de grandes esperanzas

En una época en que los grandes presupuestos y las grandes organizaciones parecen ser casi un requisito indispensable para la invención, es de notar que la esperanza todavía surge eternamente en las mentes creativas de los inventores independientes. En 1951, la Sinclair Oil invitó a los americanos inventivos para que les propusiera ideas de posible desarrollo.

La compañía recibió 50.000 sugerencias en tres años. El hecho que pocas de ellas fueran aplicables, no es significativo necesariamente; los inventores independientes rara vez hacen contribuciones originales en el campo de la química.



ACELERANDO LA SECCIÓN DE RETALES. Richard Walton muestra su nuevo invento, una máquina que todavía no lleva nombre, que puede escoger un solo trozo de tela de un montón de retales, manipulación que ahora se hace o mano. Las licencias comerciales para esta y otras máquinas para el comercio textil le producen o Walton unos ingresos que sostienen su taller de investigación en Boston.

Cuando la estación de Filadelfia WCAU-TV inició un programa titulado "La Gran Idea" para dar una oportunidad a los inventores de demostrar los retoños de su cerebro, respondieron 36.000 personas. Durante seis años y medio 1.600 de ellos fueron televisados.



AUTOMACIÓN PARA EL CORREO. Jacob Rabinow, inspecciona su máquina automática para encarar y matasellar cartas, que desarrolló bajo contrato con Correos. Utilizando un detector para determinar la situación del sello en cada carta, la máquina pone la carta en posición para que actúe el matasellos. Rabinow abandonó el empleo del Estado de \$9.200 al año, y trabaja por su cuenta.

Más de 40 vendieron sus inventos, cobrando desde unos cuantos miles de dólares, en tres casos, hasta más de un millón. Los inventores independientes envían 1.000 ideas por mes al Consejo Nacional de Inventores, que es una rama del Departamento de Comercio que sirve de cámara de compensación de los inventos que interesan al gobierno.



MEJORAS PARA LA VIDA COTIDIANA. Charles Hollerith, de Jackson, Michigan, que tiene en su haber 77 patentes, permanece en pie tras de un silenciador, freno y rueda, todo diseño suyo. Hollerith ha inventado una tracción para cortadores de césped, una repisa de control para eliminar los cables en utensilios domésticos, un lavaplatos, un encaje magnético para impresión, y un cierre para autos.

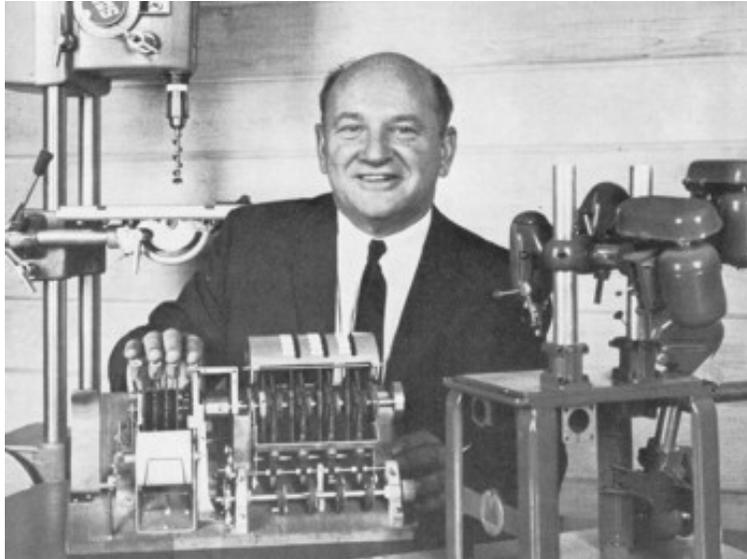
A pesar del reducido número de los que aciertan, los inventores independientes continúan tras de las evasivas fama y fortuna que tradicionalmente se acumulan en torno al creador de un invento con éxito.



VASIJA PARA MERCANCÍAS SENSITIVAS

La doctora María Telkes sostiene un bocal con pico de una sustancia química que ella ha sintetizado. El compuesto procede de sus experimentos y mantiene una temperatura uniforme en la vasija utilizada para los sistemas de orientación en el proyectil Polaris. Las vasijas están fabricadas en la compañía Cryo-Therm, de Fogelsville en Pennsylvania.

Su inspiración procede, entre otros, de los tres hombres y una mujer que vemos en estas páginas. Los cuatro son inventores que han tenido éxito por sí solos.



HERRAMIENTAS PARA AFICIONADOS. Hans Goldschmidt sonríe detrás de su «Shopsmith», la herramienta de múltiples aplicaciones que le ha totalizado más de noventa millones de dólares. Lo inventó después de la guerra y empezó su producción con un capital de \$20.000. Las ventas se multiplicaron bajo el slogan, «hágalo usted mismo». Goldschmidt dirige una compañía en Menlo Park, California.

Y prueban que el inventor independiente con éxito puede lograr la fama, y amasar una considerable fortuna.



COPIAS EN SECO PARA OFICINAS. Chester Carlson hace una pausa en un momento ocupado en el Webster de Nueva York, planta de la Xerox Corporation, donde se fabrican las máquinas que utilizan su procedimiento de copia, Xerography, fue el primer procedimiento de copiar en seco, rápido y eficaz, que estuvo a disposición de las firmas comerciales. Carlson ha sido recompensado ampliamente.



HELICÓPTEROS PARA REMOLQUES. Igor Sikorsky, uno de los decanos de la aviación americana, está de pie delante del Skycrane, un helicóptero capaz de transportar un remolque de camión cargado. Sikorsky, ruso emigrado, diseñó y desarrolló muchos tipos de aviones mientras perfeccionaba su helicóptero. Vendió su compañía a la United Aircraft, donde produjo su primer helicóptero en 1939.

Computador y transistor, genios electrónicos que dan forma a nuestro futuro.

El alcance que en cambiar nuestras vidas puede tener un invento de importancia, es posible que jamás pueda medirse por completo. Los 60 millones de aparatos de televisión que existen hoy en las casas norteamericanas, comparados con los 5.000 en 1946, o unos 200.000 en 1948, no empiezan siquiera a indicar el impacto total del ubicuo instrumento en la vida americana.

Aunque penetrante, como ha sido la influencia de la televisión, su capacidad de influir y afectar nuestras vidas puede quedar eclipsada en el futuro, si no lo ha sido ya, por los dos inventos más grandes del período de la posguerra, el computador

electrónico y el transistor. El transistor, ha hecho de la exploración del espacio una realidad y la posibilidad de fabricar cientos de productos nuevos.



CEREBROS PARA LA INDUSTRIA. El Dr. John W. Mauchly (izquierda) y J. Presper Eckert están detrás de la repisa del Univac 1, uno de los primeros modelos de su computador de alta velocidad. La firma que fundaron se vendió a Sperry Rand. Mauchly dirige una firma en Fort Washington, Pennsylvania. Al preguntarle: « ¿Piensan los máquinas? Mauchly contestó: «Computo que sí»

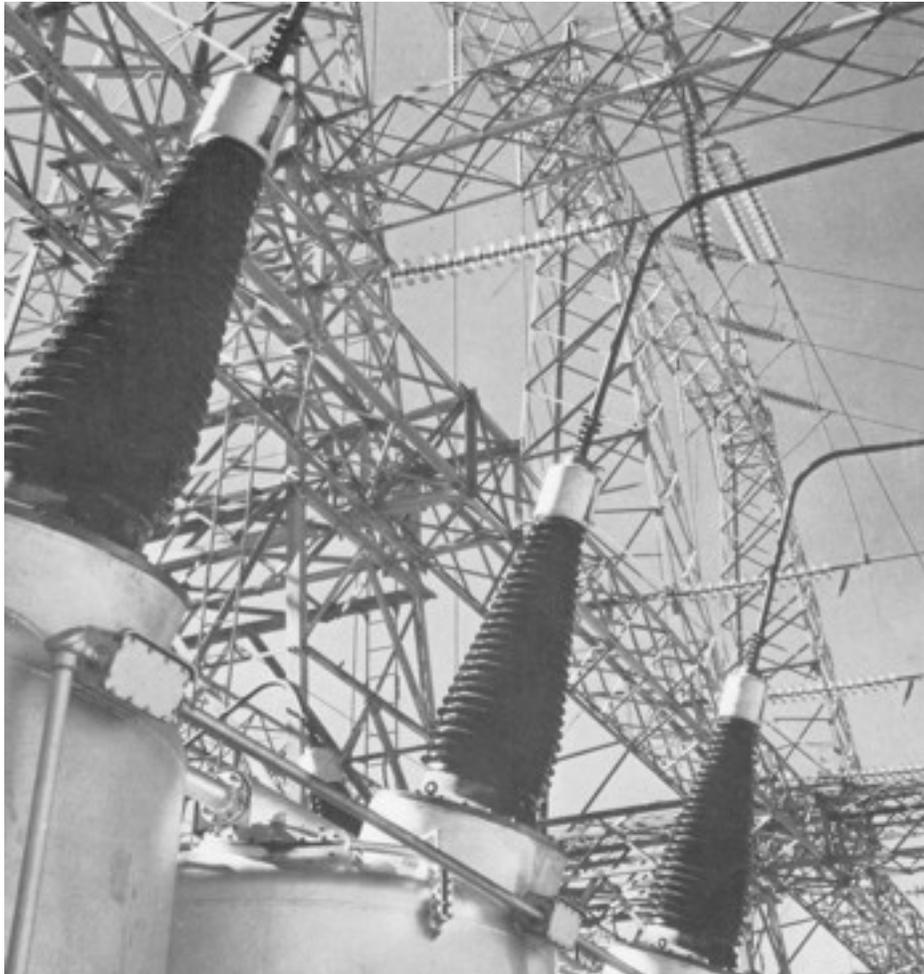
Hay en la actualidad más de 15.000 computadores trabajando para los negocios y el gobierno de los EEUU, y otros 7.800 están pedidos. Pero la tecnología del computador está aún en su infancia.



*ESPUELA PARA LA EDAD DEL ESPACIO.
El Dr. William Shockley muestra un transistor con el cual ganó (junto con W. H. Brattain y John Bardeen) el Premio Nobel como co-inventor. Shockley, director de investigación y desarrollo de la Clevite Corporation en Palo Alto, prevé que el papel más importante del transistor será como parte del computador, para «los trabajos de ordenar, buscar, recuperar»*

Capítulo 6

Servidores eléctricos de todo el mundo



FACETAS DE UN MANANTIAL. Con sus aisladores de cristal y porcelana resplandeciendo en las alturas, la inmensa central de Parker Dam, en el río Colorado, suministra una buena parte de los recursos eléctricos de la nación. La fuerza silenciosa de la electricidad, ha dado una movilidad nueva a la industria americana y nuevas comodidades y facilidades a los ciudadanos.

Dentro de diez años, según predicen los expertos en tales materias, el promedio de hogares en los EEUU tendrán a su disposición el servicio de más de 75 aparatos eléctricos distintos y separados, casi el cuádruplo del número en uso corriente hace una generación. El americano medio, ejercitando su derecho inalienable de ser inquieto, puede o no puede encontrar cada uno de los últimos de estos dispositivos,

ingenios o chismes, conveniente para su forma de vivir. Pero cualesquiera que sean los que escoja para ir pasando, estará apoyando una tendencia nacional. Las máquinas hace mucho tiempo que han penetrado en el hogar, y para quedarse, forjando una unanimidad con sus propietarios individuales.

La electricidad ha personalizado a la máquina suministrando al hombre su fuerza en caballos particular, en su mismo hogar particular. Unos motores eléctricos no mayores que las cajas de cerillas hacen funcionar nuestras máquinas de afeitar; motores del tamaño de pelotas de tenis hacen mover nuestras batidoras, mezcladoras y secadores de pelo; unos motores algo mayores mueven los ventiladores, refrigeradores, fogones y aspiradores de polvo. La comodidad y la conveniencia humana estriban en las máquinas movidas por electricidad, de una forma que jamás hicieron con máquinas propulsadas por agua o por vapor. Hay una ironía curiosa en ello. Mientras que el agua y el vapor restablecen la confianza familiar, la electricidad, que ha hecho muchísimo más para que el hombre estuviera obligado a la máquina, es también mucho más extraña para él.

Escondida en un alambre, viviendo una vida secreta en la pared, es silenciosa, invisible, obedece con rapidez si se la trata con respeto, es, sin embargo, peligrosa e intratable si se la maneja con descuido.

Aunque ha mecanizado la casa, esta enigmática fuente de energía ha producido cambios económicos y sociales, irrevocables y fundamentales, a través de todo el país.

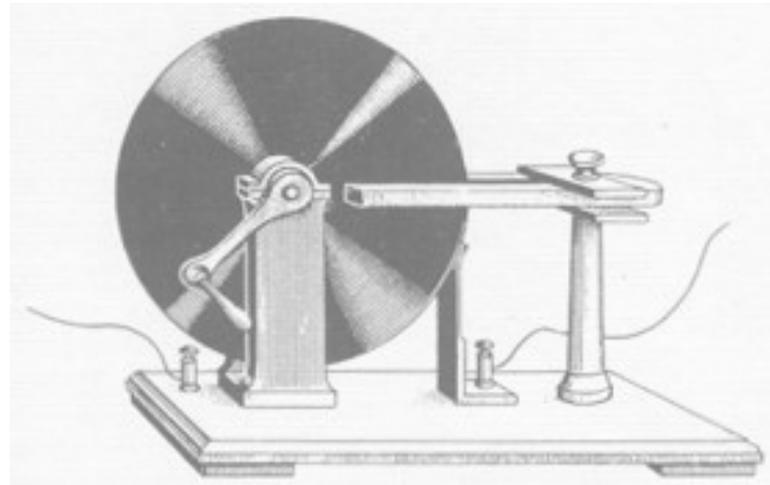
Como la electricidad puede «encañarse», por medio de cables, casi a cualquier parte, transportada por cables de alta tensión a través de montañas, desiertos y toda clase de obstáculos naturales, las fábricas no necesitan estar muy próximas a sus fuentes de energía. El resultado ha sido que han podido, especialmente en las industrias ligeras, volverse a situar a placer, volviendo a establecer ejércitos enteros de trabajadores en los suburbios menos ruidosos de Boston y Nueva York, los más tranquilos climas de California y del Sudoeste.

Dentro de la fábrica misma los motores eléctricos compactos, que proporcionan energía limpia y tranquilamente, han echado a un lado aquel laberinto estruendoso de ejes, poleas y correas.

La electricidad ha conducido a toda una nueva raza de máquinas, la variedad electrónica, de las que la televisión y los computadores son sólo dos ejemplos. Consideraremos de forma especial tales máquinas; digamos de paso aquí que todavía ha de comprenderse cuál será su total inferencia. Son máquinas que muchos temen; sin embargo, máquinas que no querríamos ni podríamos desterrar. En un sentido amplio, significan gran parte de la diferencia entre el ayer y el mañana, entre eras más sencillas pasadas y la edad de la automatización, Mach VI, y los disparos a la Luna.

Los orígenes de las maravillas de los últimos tiempos y sus predecesoras se remontan a varios siglos; lo mismo que con tantas irrupciones importantes en el conocimiento científico, las raíces yacían en un experimento fortuito. En este caso, el inocuo sujeto era una rana disecada, el experimentador un profesor italiano de anatomía del siglo XVIII llamado Luigi Galvani, en honor de quien tenemos la palabra «galvanizar», estimular por medio de la corriente. En el curso de sus investigaciones anatómicas un día en los años 1780, Galvani colgó por las patas una rana disecada en dos ganchos de metal contra un enrejado de hierro. De pronto vio que las patas se crispaban, y decidió que la «electricidad animal» había contraído los músculos de las ancas. Resultó que estaba equivocado; sin embargo, lo que había hecho les llevaría a él y a la rana a la inmortalidad.

UNA NUEVA ERA DE ABUNDANCIA Y SU MAESTRO CONSTRUCTOR



MODELO PRIMITIVO DE DINAMO. Uno de las estrellas más brillantes de la ciencia británica, Michael Faraday, indicó el camino para la gigantesca explotación actual de la energía eléctrica, construyendo una máquina para producir electricidad por magnetismo. Consistía en un disco de cobre de 30 centímetros montado sobre un eje, entre los polos de un imán. Al girar el disco a través del campo magnético, generaba una corriente eléctrica, que salía por los hilos conectados.

Mucho antes de la era cristiana, el hombre conocía las propiedades de la piedra imán. En el siglo XII ya había ingeniado el compás magnético; todavía más tarde descubrió la existencia de los polos magnéticos de la tierra. También se había dado cuenta de la electricidad estática, de la clase que se genera arrastrando los pies por una habitación alfombrada. Galvani, aunque sin darse cuenta, había dado con otra forma de electricidad; la que circulaba en una corriente continua, y que fluiría por un alambre; la que un día iluminaría una lámpara o propulsaría una máquina.

El descubrimiento de Galvani inspiró a otro italiano, el físico Alessandro Volta, para realizar algunos experimentos por cuenta propia. Volta pronto descubrió la verdadera explicación de porqué se crispaban las ancas de la rana: dos metales distintos, junto con la humedad (en el experimento de Galvani, el latón de los ganchos, el hierro del enrejado y los tejidos húmedos de las ancas de rana), producían la electricidad al contacto uno del otro. Esta electricidad, al pasar como corriente del gancho a través de la rana, a través del enrejado y nuevamente al

gancho, estimulaba los nervios de las ancas de rana, haciendo que se crisparan. Volta hizo entonces su sólida contribución: produjo un dispositivo para crear corriente eléctrica.

Una potente pila de fichas de poker

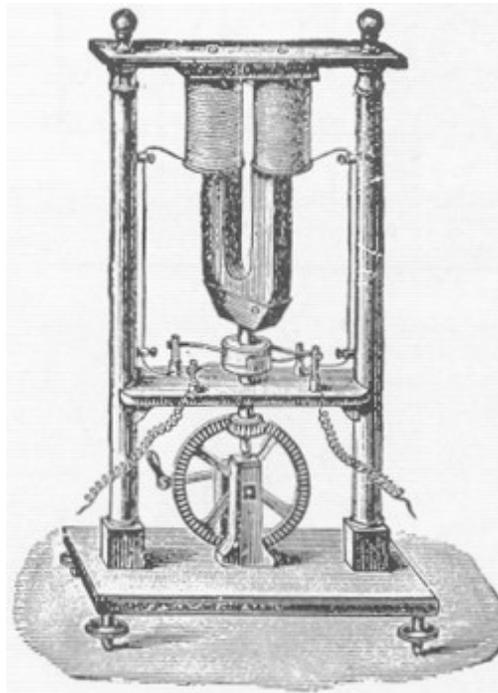
De acuerdo con la primera descripción de Volta en 1800, su batería o «pila voltaica», como llegó a llamársele, parecía un montón de buen tamaño de fichas de poker, discos hechos de tres materiales: zinc, cobre y cartón empapado de salmuera. Estaban dispuestos en serie, empezando en la parte inferior de la pila: cobre, zinc, cartón, cobre, zinc, cartón, etc. El cobre y el zinc hacían los metales distintos; la salmuera en el cartón suministraba el fluido conductor. Cuando Volta tocó simultáneamente el disco inferior de cobre y el superior de zinc, recibió una descarga eléctrica.

En esencia, la pila voltaica era un propulsor primario, sin partes movibles, para transformar energía química en electricidad. Los dos metales diferentes servían de «electrodos», o polos de carga contraria; la salmuera servía de «electrolito» o fluido conductor. El zinc, al reaccionar con la salmuera, soltaba una corriente de electrones, partículas atómicas que forman una corriente eléctrica. La corriente salió del electrodo de zinc, fluyó a través de la salmuera al electrodo de cobre, después completó el circuito, regresando, a través del mismo Volta, al electrodo de zinc.

La pila de Volta desencadenó una investigación muy extensa en el carácter y caprichos de la electricidad. El hombre miraba con profunda fascinación esta extraña fuerza que podía bien llamear en relámpagos a través de los cielos o hacer estremecerse a una delicada aguja como si fuera una hoja en el viento. Meditaron y jugaron con ella; hablaron y escribieron sobre ella, y nunca pararon de intentar de profundizar en ella. Dentro de las tres décadas siguientes al triunfo de Volta, tres descubrimientos primarios pusieron las máquinas propulsadas por electricidad a un fácil alcance. Los descubridores formaban un grupo diverso: un profesor, un ex encuadernador, un francés felizmente llamado Hippolyte Pixii y un aprendiz de actor convertido en maestro de escuela.

Una brújula desobediente

El profesor era Hans Christian Oersted, físico danés. En la primavera de 1820, mientras daba una conferencia a una clase en la Universidad de Copenhague, Oersted empujó sin querer una brújula bajo un alambre eléctrico con carga. Por lo general, la brújula del compás, obedeciendo a la atracción de los polos magnéticos de la tierra, marcaría hacia el norte; esta vez, siguiendo una atracción sin duda mayor, la aguja osciló girando en línea de ángulo recto al alambre. Oersted entonces confirmó que un alambre cargado con una corriente eléctrica producía una fuerza que actuaba como un imán. Había descubierto, en una palabra, el electromagnetismo.

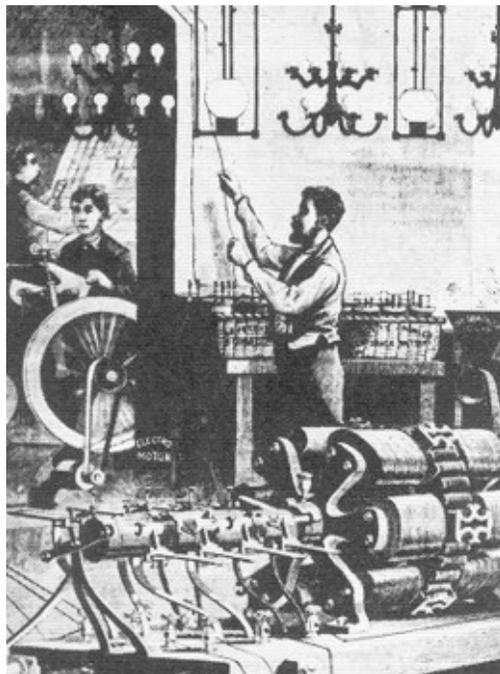


REFINAMIENTO FRANCÉS. El primer generador eléctrico útil, proyectado por Hippolyte Pixii, fabricante de instrumentos francés, mejoró considerablemente el modelo de Faraday. Un imán colocado boca arriba como una U debajo de las bobinas de alambre. Un eje unía el imán o unas ruedas dentadas y una manivela hacía girar el imán. El campo magnético alternativo produjo un voltaje superior al de la dínamo de Faraday.

El ex encuadernador era un joven inglés, Michael Faraday, cuya pasión por la ciencia le había conseguido un puesto en Londres como ayudante de laboratorio en el floreciente centro de investigación conocido por Royal Institution. Si la electricidad podía producir magnetismo, Faraday se preguntó ¿no será posible que

el magnetismo pudiera producir electricidad? La respuesta, emocionante en lo afirmativo, surgió, en 1831, en una máquina debida al ingenio de Faraday. Aunque primitivo, este aparato representaba la primera dínamo del mundo, del griego *dynamis*, fuerza, la primera máquina en generar electricidad normal.

Al otro lado del Canal, unos cuantos meses después del logro de Faraday, Pixii, hombre de formidable habilidad técnica y de ingeniería, construyó un generador practicable capaz de una producción de corriente que sobrepasaba en mucho la máquina de Faraday en fuerza y regularidad.



PRECURSOR DE GIGANTES. La luz eléctrica y el nombre de Thomas Edison son sinónimos para muchas mentes, pero muchas ciudades norteamericanas gozaron del beneficio de esa iluminación antes de la lámpara incandescente de Edison. La luz de arco, del modelo inventado por Charles Brush, hizo necesarias las centrales de energía como la de arriba, iluminadas por lámparas de arco (rectángulos en la parte superior) y alimentadas por dinamos (primer término).

El cuarto descubridor era un americano, Joseph Henry, cuya contribución a la tecnología se produjo de una manera extraña, a través del mundo de los libros. Cuando tenía 10 años, en el Estado de Nueva York, Henry persiguió un conejo, metiéndose por un resquicio de la iglesia del pueblo y encontrándose con un escondrijo de novelas. Su violento contenido le inflamó, entrando muy joven de

aprendiz en una compañía de teatro en Albany. Así ocupado, se puso enfermo y durante el tiempo que estuvo recluido en cama leyó por casualidad un libro popular de ciencia.

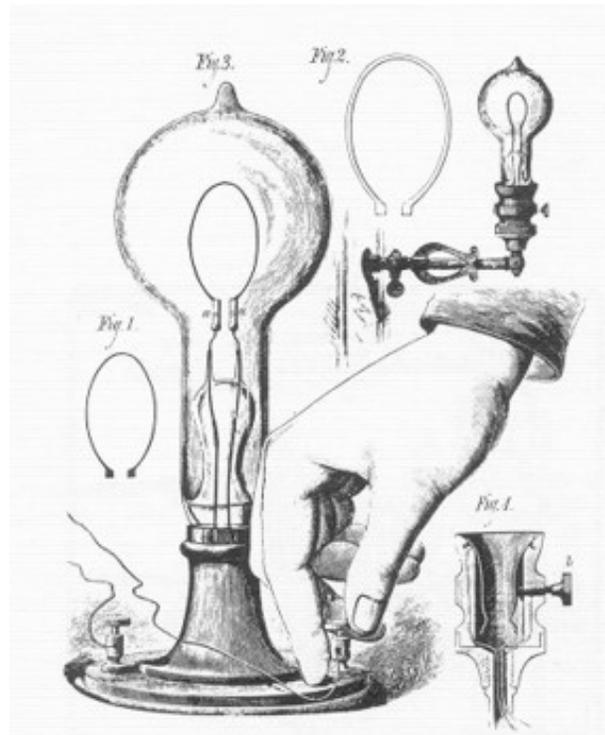
Henry desde entonces se enroló en la Academia de Albany, acumuló un historial impresionante como alumno, y pronto se embarcó en una carrera pedagógica que finalmente le volvió a la Academia como profesor de matemáticas. Allí, en 1829, inventó el precursor de los poderosos electroimanes de hoy: una barra de hierro en forma de herradura, envuelta apretadamente con alambre aislado, el cual, cargado de corriente eléctrica, magnetizaba el hierro. Por el año 1831 Henry había mejorado tanto su invento, que era capaz de levantar por completo una tonelada de metal.

Cuestión de imanes y bobinas

Hombres muy prácticos se dedicaron a la tarea de encontrar a estos descubrimientos una utilidad también práctica. Cambiando las posiciones relativas de los imanes y de las bobinas cargadas de corriente en varias disposiciones, pudieron construir pequeños motores que producían movimiento rotativo. En 1837, Thomas Davenport, un herrero de Vermont, ideó el primer motor eléctrico para propulsar maquinaria industrial. Siete años más tarde, otro americano, Samuel F. B. Morse, pulsó su histórico primer mensaje telegráfico en su nuevo telégrafo electromagnético que servía de comunicación instantánea. En 1876 un ingeniero electricista belga, Zénobe Théophile Gramme, diseñó una dínamo que, debido a su tamaño conveniente y su facultad de producir una verdadera corriente continua, fue la primera en venderse extensamente. También en 1876, en Boston, Alexander Graham Bell transmitió el sonido de la voz humana a través de un alambre por medios electromagnéticos; a fines de 1877 más de 9.000 de sus teléfonos estaban en servicio en los EEUU.

Un año más tarde Thomas Alva Edison, el mago de la electricidad de Menlo Park, Nueva Jersey, se dedicó con empeño a las realizaciones que coronaron su extraordinaria carrera: el desarrollo de una lámpara de incandescencia y el establecimiento de un sistema de estaciones centrales distribuidoras de energía para luz y fuerza.

La lámpara de incandescencia funciona por un principio engañosamente simple. Cuando una sustancia resiste el paso de una corriente eléctrica, se genera calor. Cuando la sustancia se pone al rojo blanco, reluce, o se pone incandescente, y despidе luz. El adaptar la electricidad para iluminar las lámparas del hombre no fue idea original de Edison. Ya en la primera década del siglo XIX el célebre sir Humphry Davy, en el curso de sus investigaciones en electroquímica, había inventado la luz de arco de carbono, una luz de la chispa, o arco, formado por el paso de una corriente eléctrica entre dos varillas adyacentes de carbón. La única fuente de corriente que tenía sir Humphry había sido la pila voltaica; necesitó 2.000 de éstas para producir un arco chisporroteante. Sin embargo, hacia 1870, gracias a los perfeccionamientos del generador eléctrico, gran número de faros, edificios y plazas centelleaban con sus luces de arco. Su resplandor deslumbrante era muy apropiado para la cúpula del Capitolio de Washington, pero difícilmente era la luz acogedora que desea una familia para su sala de estar. «No, dijo Edison, es demasiado grande, demasiado brillante. Lo que deseábamos eran luces pequeñas y la distribución de éstas en las casas del pueblo en forma parecida al gas.» Las lámparas incandescentes ya habían sido desarrolladas con relativo éxito alrededor de 1850 por el químico inglés Joseph (más tarde sir Joseph) Swan. Swan y Edison, por cierto, tomaron el mismo rumbo; la lámpara de filamento, en la cual el paso de una corriente eléctrica a través de un trozo de carbón o alambre resistente, calentaba el carbón o el alambre hasta la incandescencia. Para evitar que el filamento se oxidara y se desintegrara, Swan lo puso en una bombilla de cristal en la que se ha extraído el aire.

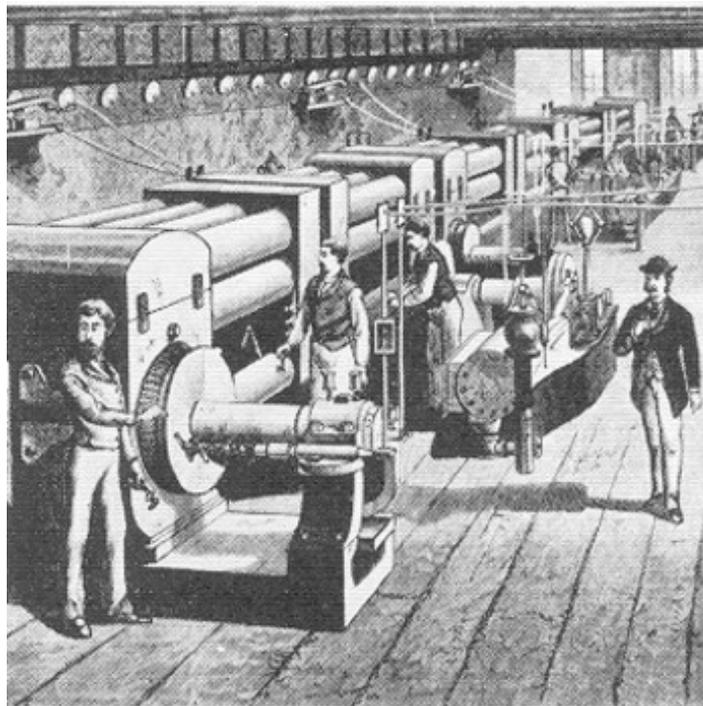


INGREDIENTES DE UNA BOMBILLA. Buscando un material adecuado para el filamento de su nueva lámpara, Edison ensayó el cartón chamuscado. Este proceso de carbonización encogió el filamento (arriba, figura 1) de su tamaño anterior (2). La herradura de carbón resultante fue colocada entre dos pinzas de platino (a) dentro de una bombilla al vacía (3). Atornillada a un pie (4) y dando paso a la corriente (b), la lámpara relucía tanto como 8 ó 10 boquillas de gas.

Mientras continuaba trabajando en su lámpara en Inglaterra, al otro lado del océano, Edison y sus financieros formaron la Edison Electric Light Company y siguieron adelante. El problema de oxidación resuelto, quedaba el problema de fusión. Todos los metales que probaron se derretían debido a la corriente que deseaban utilizar. Meditando la cuestión un día en su laboratorio, Edison descuidadamente tocó con los dedos una mezcla de alquitrán y negro de humo que uno de sus ayudantes había dejado sobre la mesa. Lo enrolló hasta formar un hilo delgado. De pronto examinó el hilo más de cerca. Por corazonada hizo otro hilo igual, lo puso dentro de una bombilla y dio la corriente. La luz que produjo era brillante y hermosa, pero se quemó rápidamente. Finalmente decidió que el carbón era ciertamente la solución, pero una forma de carbón más duradera. En un momento de inspiración pensó en utilizar hilo de algodón convertido en carbón al chamuscarlo.

Vitalidad de una bombilla de luz

Dar forma a la primera muestra, perfecta y entera, así como empalmarla al alambre en una bombilla, llevó casi cuatro días, pero la lámpara lanzó un resplandor suave y cálido. «El problema se ha resuelto, escribié, si es que dura el filamento. El día era, veamos, el 21 de octubre de 1879. Nos sentamos y contemplamos, y la luz continuó ardiendo... Duró unas 45 horas, y entonces dije: "Si arde ese número de horas ahora, sé que la puedo hacer arder ciento". »



NUEVA MARAVILLA EN MANHATTAN. Después de ingeniar su lámpara incandescente, Edison construyó una central eléctrica para proporcionar luz y fuerza eléctrica a toda un área. En su apogeo en 1884, su primera central de Pearl Street, en Nueva York, alimentaba 10.164 lámparas y 508 clientes. Sus máquinas propulsaban seis dinamos «jumbo» (arriba). La operación resultó tan bien que en 1885 la mayoría de las compañías eléctricas de EEUU usaban luces incandescentes.

Sin embargo, Edison no estaba satisfecho. Carbonizar un endeble trozo de hilo y aplicarlo a una bombilla sin que se rompiera era una tarea ímproba. «En algún lugar del taller de Dios Todopoderoso, declaró, hay un cultivo de madera compacta, con fibras casi paralelas geoméricamente y que apenas tengan médula, de la que se

puedan sacar magníficas hebras.» Después de probar miles de materiales, conseguidos en todo el mundo, encontró lo que quería en una tira de bambú de un abanico japonés.

La víspera de Año Nuevo en 1880, Edison preparó una hilera de medio centenar de bombillas en el interior y alrededores de su laboratorio en Menlo Park e invitó al público a visitarlo. Un periodista de cara dura informó que el lucero vespertino no era en realidad Venus, sino una de sus lámparas colgada de un globo invisible. Este cuento tuvo como resultado una serie de cartas de lectores de diversos Estados, que deseaban saber cómo había hecho el inventor para hacer subir la luz al firmamento.

Conducciones subterráneas fructíferas

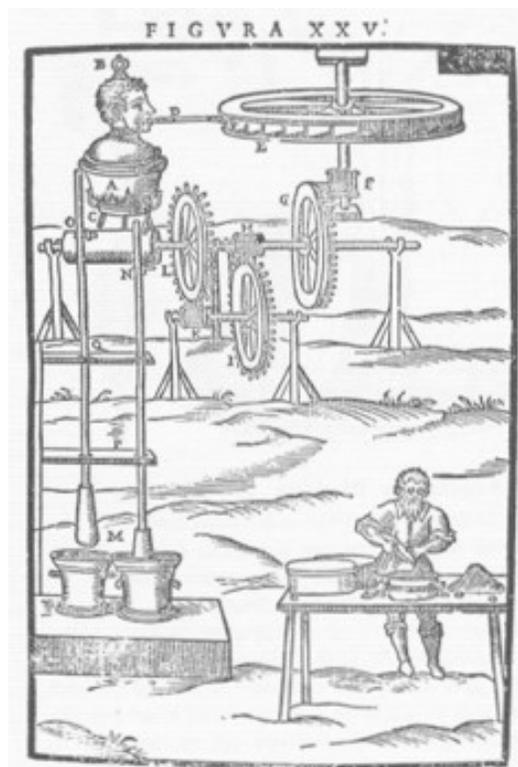
¿De qué servían, sin embargo, las lámparas si no podían iluminar oficinas, almacenes, tiendas y hogares sin un generador en cada sitio? La contestación de Edison fue su golpe maestro siguiente: la corriente eléctrica sería distribuida a un distrito completo desde una estación generadora situada en lugar céntrico.

Con la aprobación de la ciudad de Nueva York, seleccionó un distrito en el bajo Manhattan y se puso a trabajar. Sus hombres pasaron dos años cavando zanjas e instalando los 22 kilómetros de conducciones subterráneas necesarias para suministrar fuerza a las 400 lámparas de sus primeros 85 clientes. Instaló una fábrica de lámparas, diseñó todo el material eléctrico e inventó un contador para medir la corriente que utilizaba cada cliente. También encargó seis dínamos de alta velocidad propulsadas por vapor y convirtió en central de energía un edificio viejo de Pearl Street. «Acostumbraba a dormir sobre montones de tubos en la central», recordaba más adelante, «y vi... cómo se hacía cada uno de los empalmes de toda la red.» El 4 de septiembre de 1882 la estación envió la primera corriente por las líneas principales y en seguida 5.000 luces se encendieron en almacenes y casas.

Edison hizo algo más que iluminar la oscuridad. Al suministrar fuerza a las lámparas del distrito de Pearl Street, también dio fuerza a las máquinas. La industria captó muy rápidamente esta merced, y, como demuestran algunas estadísticas comparativas, lo hizo con un fervor en constante aumento. La inversión inicial en la empresa de Pearl Street ascendió a 340.000 dólares, de ellos, 40.000 dólares de

Edison y el resto adelantado por emprendedores banqueros de Nueva York. Hoy, ocho décadas más tarde, la inversión de compañías eléctricas en centrales y equipo a través de los EEUU excede de cincuenta millares de millones de dólares. Una de las primeras dinamos de Edison tenía una producción de 100 kilowatios de fuerza eléctrica, el equivalente de unos 133 caballos de fuerza; hoy, algunos generadores tienen una producción potencial de 650.000 kilowatios cada uno, equivale a unos 870.000 HP.

Al abrir un nuevo capítulo en la historia de la máquina, la central de energía eléctrica era, como corresponde, una máquina en sí, una dinamo, puesta en marcha por medio de otra máquina: en Pearl Street una máquina de vapor, hoy una turbina. La turbina gira por medio de la caída de agua o por la fuerza expansiva del vapor.

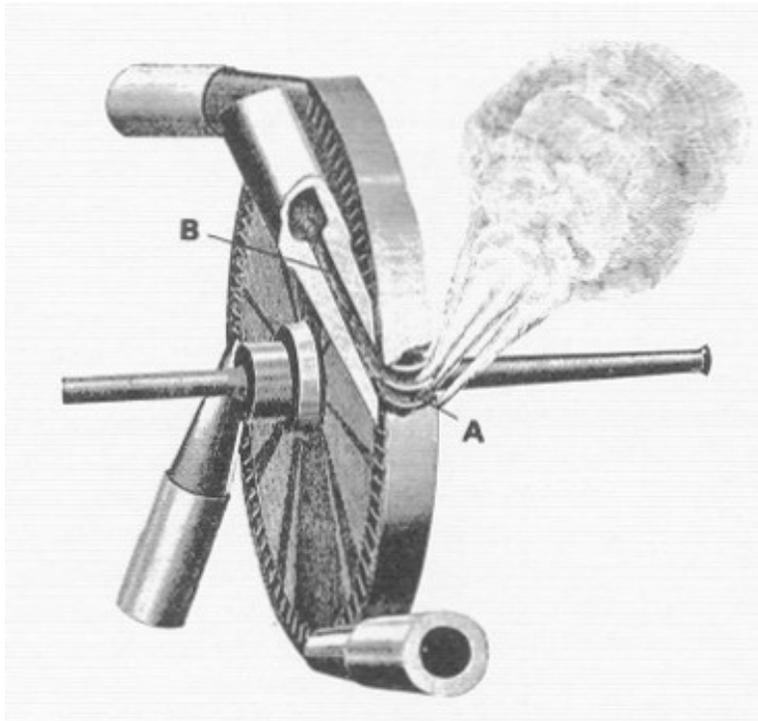


TURBINA DE VAPOR A LA ITALIANA. La Historia no ha registrado si el artefacto de arriba llegó a fabricarse, pero este grabado del mismo, sacado de un tomo del siglo XVII y debido al arquitecto italiano Giovanni Branca, es la evidencia pictórica más antigua de la turbina de vapor. Una caldera de bronce de forma de cabeza humana (6) vomita vapor contra una rueda de paletas (E), que hace girar unas ruedas dentadas (G, L, I) que mueven dos manos machacadoras en sus morteros (M).

La energía mecánica de la turbina (del latín turbo, «girar») propulsa la dínamo y hace que giren sus bobinas de alambre en el campo magnético; esto genera energía eléctrica. Transmitida todavía a otra máquina, el motor eléctrico, esta energía eléctrica se vuelve a convertir en energía mecánica. Como el generador, el motor eléctrico tiene bobinas de alambre enrollado apretadamente y un imán. La corriente eléctrica que corre por las bobinas inicia una interacción de *contrafase* («*pushpull*») entre los campos magnéticos, una creada por el imán, la otra por la electricidad de las bobinas. Esta interacción hace que las bobinas giren a gran velocidad. El eje al que van acopladas gira al mismo tiempo, y a su vez lo hacen la herramienta de la máquina, el mezclador, taladro o trituradora.

Lunas de miel y fuerza en caballos

La primera turbina de agua que funcionó se remonta en Francia a los años 1830, en que una organización conocida, la Sociedad para el Fomento de la Industria Nacional, hizo un concurso para mejorar la eficacia de la rueda hidráulica. El ganador fue Benoit Fourneyron, un joven ingeniero. Con el tiempo Fourneyron diseñó y construyó turbinas que producían tanto como 220 caballos de fuerza.



TURBINA DE VAPOR A LA SUECA. Austeros por contraste frente a la fantasiosa invención de Branca, las turbinas de vapor laborables fueron construidos por C. G. P. De Laval, ingeniero sueco, hacia el año 1880. Consistían en una rueda que giraba hasta 40.000 rpm. (corte A). El vapor penetraba por 4 boquillas, regulando su presión y expansión por medio de embudos (corte B). Los aviones de propulsión a chorro utilizan la boquilla de De Laval.

Sin embargo, como propulsores primarios, estuvieron eclipsadas por la máquina de vapor hasta la década de 1880. Los ingenieros entonces se volcaron hacia la turbina de agua como medio ideal de hacer frente a la progresiva demanda de fuerza eléctrica, inspirados por la Central eléctrica de Edison en Pearl Street. Se malgastaban más de un millón de caballos, por ejemplo, en las cataratas de Niágara; eran suficientes para echar a perder la luna de miel de una persona sensata. Entre los vítores resonando de una costa a otra de los EEUU, el primer turbogenerador del Niágara, de 5.000 HP, se puso en funcionamiento en abril de 1895. Poco después, otros dos más estaban iluminando las casas y moviendo las máquinas de Buffalo, a 35 kilómetros de distancia.

Hoy, sin embargo, las centrales hidroeléctricas sólo producen un 20 % de la fuerza eléctrica de la nación; los motores diesel y otros de combustión interna suministran menos de un 1%; un 79 % preponderante procede de generadores movidos por

vapor. Ya en los años 1880, Carl Gustav Patrik de Laval, un ingeniero sueco, había construido una pequeña y eficiente máquina de vapor, con paletas curvadas graciosamente, algo como la turbina de agua de Fourneyron. En el transcurso de las dos décadas siguientes, De Laval diseñó modelos que producían 500 HP.

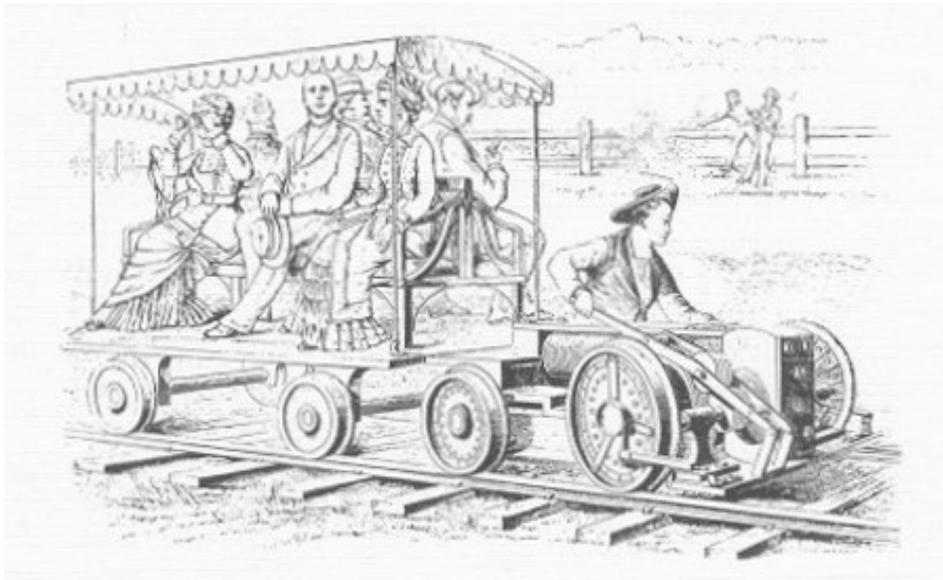
Con el tiempo, C. A. Parsons, ingeniero británico, y C. G. Curtis, un americano, empezaron a construir turbinas de múltiples secciones que eran el último grito. Estas últimas turbinas eran las precursoras de las grandes turbinas que ahora propulsan los trasatlánticos y hacen girar los mayores generadores eléctricos; a principios de siglo producían 6.500 HP. La turbina moderna de vapor, que en algunos casos llega a tener 20 ruedas o más, equipadas con 125 paletas cada una, produce alrededor de 325.000 HP.

De los dos tipos de turbina, la propulsada a vapor es, con mucho, la más flexible. La mayor parte de las centrales hidroeléctricas necesitan ríos de agua y obras de ingeniería. La turbina de vapor también necesita agua, pero principalmente con objeto de hacer la condensación. Además, puede trabajar con combustibles diversos. El calor de las calderas puede proceder de las llamas de carbón, gas o petróleo; cada vez más procede ahora de la escisión nuclear. En 1963, una docena de centrales de energía atómica, con una capacidad total de 900.000 kilowatios, estaban funcionando en los EEUU. No necesitando oxígeno para consumir su combustible atómico, el horno nuclear o reactor está muy indicado para la turbinas de los submarinos, como, por ejemplo, en el Nautilus.

La bendición de un salto de agua distante

A un extremo de la cadena cinemática, la cadena de movimiento, la turbina convierte las fuentes naturales de energía en electricidad y la envía a más de 1.000 kilómetros de distancia por medio de líneas transmisoras de alto voltaje; al otro extremo de la cadena, el motor eléctrico convierte la energía en movimiento rotativo. Así, en efecto, un salto de agua distante, un llameante fuego de carbón o un pedazo de U-235 en desintegración, barren sus pisos y lavan sus platos. No existe evidencia más espectacular de la moderna interdependencia piramidal del hombre y la máquina.

Desde el principio, la energía eléctrica creada por máquinas alteró formas y costumbres, vidas y ambientes. Uno de sus mecanismos primeros y de mayor influencia fueron los tranvías, que recibían la energía de una línea aérea o bien de un tercer rail y la transmitían a un motor eléctrico que 'hacía girar las ruedas motrices. Ahora, desplazado mayormente por autobuses de gasolina y diesel, rápidos y de fácil maniobra, el trole, nombre aplicado a un dispositivo que corría por el cable aéreo de energía y proporcionaba la corriente al vehículo por medio de un cable flexible, fue en su día un triunfo formidable sobre el tiempo y la distancia. Aceleró la expansión de las ciudades al proporcionar transporte rápido y barato entre los crecientes distritos residenciales y los barrios extremos.

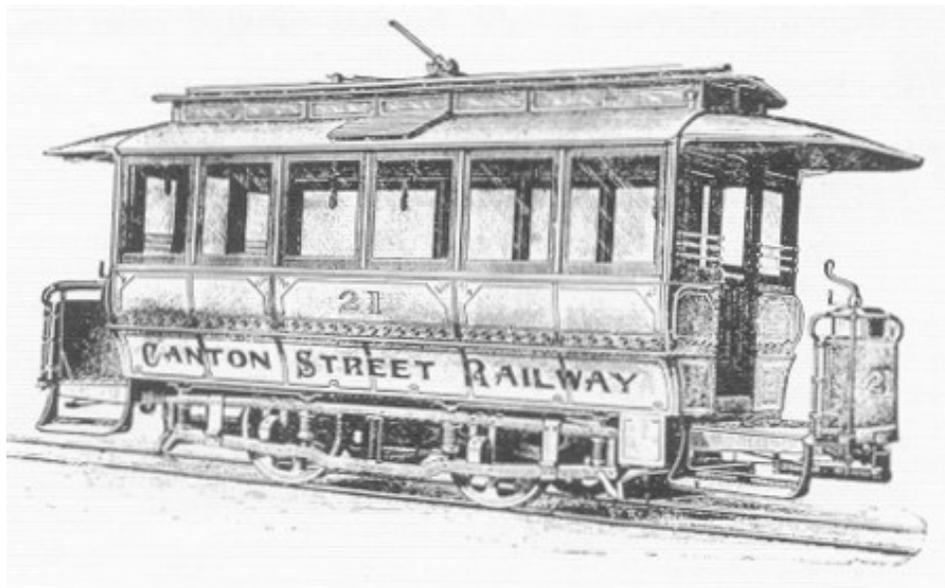


UN VIAJE DE PLACER..., ELÉCTRICO. Conservando una impresión de los anticuados métodos de transporte en su techo, adornado con flecos, el carruaje movido por tracción eléctrica conducía a los visitantes a través del cuartel general de Edison, en Menlo Park, Nueva Jersey. La corriente pasaba a la locomotora por medio de alambres conectados a cada rail. Un pasajero comentó que hizo el viaje a una velocidad como para romperse la cabeza.

Los tranvías se establecieron en Europa a principios de la década del ochocientos ochenta, y pronto llegaron a América. De las 20 comunidades que poco más o menos los utilizaban en 1888, la ciudad de Richmond, en Virginia, pretendía haber sido la primera en tener un servicio regular. Fueron construidos por Frank J. Sprague, de 30 años de edad, graduado en Anápolis, y el servicio contaba con 40

coches y 19 kilómetros de vías. El sistema de Sprague tuvo un éxito inmediato. Cuando unos cuantos años más tarde Nueva Orleans lo utilizó para reemplazar sus anticuados tranvías de mulas, los jubilosos ciudadanos echaron al aire prospectos que decían: «Lincoln dio la libertad a los esclavos; Sprague dio la libertad a las mulas; la mula de pelo largo ya no adornará nuestras calles.»

Emulando a los tranvías, los ferrocarriles, en 1895, se volvieron hacia la electricidad en busca de fuerza. La electrificación de la tracción de los ferrocarriles por medio de un tercer rail o de una línea aérea de fuerza, y el cambio a las locomotoras propulsadas por electricidad, llevó tiempo; a pesar de ello, la resoplante locomotora de vapor llevaba sobre sí el signo fatal de su destino.



NEMESIS ELECTRICO. Cuando el tranvía eléctrico empezó a extenderse en los EEUU, los conductores de los coches de mulas pretendieron desdeñarlos. "Doy una palmadita en el cuello de mi buen caballo y le llamo mi mejor amigo", dijo una autoridad. Este artefacto de Canton, Ohio, resultó ser la Némesis del caballo. Desde 1890 a 1902 las líneas electrificadas aumentaron de 2.000 a 35.000 kilómetros; los tranvías de tracción animal bajaron de 8.000 a 400.

El final se produjo en los años 1930 a 1940, con el desarrollo de la magnífica locomotora diesel eléctrica y su combinación de tres unidades de fuerza: motor diesel de aceite combustible, que hace girar un generador que produce la corriente eléctrica. La última locomotora a vapor en los Estados Unidos fue construida en 1952.

Estas pesadas unidades eléctricas fueron el principio del transporte moderno por ferrocarril. Todavía más dramático, sin embargo, fue el impacto de los motores eléctricos pequeños y compactos. En los últimos 25 años, en la perspectiva histórica, un abrir y cerrar de ojos, han reconstruido las vidas de todos nosotros, habitantes rurales y urbanos por igual.

La electricidad en el campo es un fenómeno relativamente reciente. En 1935, aunque muchas granjas utilizaban fuerza eléctrica procedente de pequeños generadores movidos a gasolina, el servicio de las centrales generadoras de energía estaba sólo a disposición de menos del 11 % de las granjas. Sin embargo, hacia el 1940, el 30 % ya tenían este servicio, y en 1960 no menos del 97 %. El resultado es que los motores eléctricos hoy en las granjas americanas impulsan más de 100 diferentes máquinas que ahorran tiempo y trabajo.

Sea en la ciudad o el campo, el pequeño motor para la casa, con una producción de energía de un quinto de caballo para un ventilador portátil, dos quintos de caballo para una refrigeradora y dos tercios de caballo para un aspirador de polvo, han hecho más para arraigar a la esposa que el antiguo molino hidráulico conseguido para las cansinas doncellas mediterráneas de Antipater del siglo I a.C.

En 1962, por ejemplo, la familia media americana consumía 4.193 kilowatios de electricidad, representando unos nueve caballos-hora al día, equivalencia de trabajo de 23 hombres laborando ocho horas al día. ¿Costo? Quizá cien dólares.

Un trío que tiene un pasado

Las tres máquinas de trabajo más intenso en el hogar, el aspirador de polvo y las lavadoras de platos y ropa, datan, por cierto, ya de los años 1860. Todas acopladas primariamente, igual que las de hoy, a la acción de pequeños ventiladores o rotores. El primitivo limpiador de alfombras tenía un ventilador que giraba por medio de una rueda dentada que había que hacer correr sobre la alfombra; el ventilador levantaba el polvo del suelo y lo trasladaba a una bandeja. El lavaplatos primitivo consistía en una tina equipada con un soporte lateral circular que sostenía los platos inclinados, igual que en algunos modelos modernos; un ventilador circular de paletas, que hacía girar a mano una manivela, lanzaba el agua contra los platos y la hacía pasar entre ellos, «chocando, según decía la patente, tanto en sus

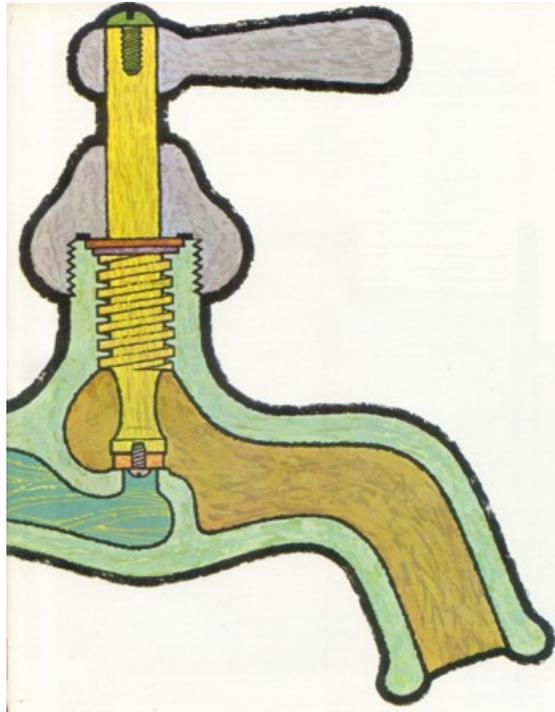
superficies de frente como traseras, y así lavándolos efectivamente». El prototipo del siglo XIX de la máquina de lavar de hoy, también consistía en una tina equipada con un rotor de varias paletas. Una manivela de mano movía el rotor en la tina, que a su vez forzaba un chorro de agua de limpieza a través de la ropa.

Varias décadas han tenido que pasar antes que el motor eléctrico fuera bastante pequeño para propulsar el ventilador de succión de un aspirador de polvo; el primer modelo eléctrico vertical se vendió alrededor de 1907. Las lavadoras eléctricas de ropa no tuvieron suficiente mercado en cantidad hasta 1920 y el lavaplatos hasta 1950, o algo así.

Cualesquiera que sean las diversas bendiciones que tiene la electricidad, sobre todo nos ha proporcionado el criado ideal y silencioso que por fin ha sustituido a nuestras manos, nuestras espaldas y nuestros músculos. Ha traído una nueva y chispeante vida al asunto tan llevado y traído del hombre y la máquina. Ha unido más fuertemente al hombre y la máquina, y más estrechamente que nunca, formando con ellos una nueva trinidad de trabajo y consecución.

Las máquinas del hogar y cómo trabajan

El hogar moderno americano abunda en un brillante surtido de esclavos mecánicos bien dispuestos.



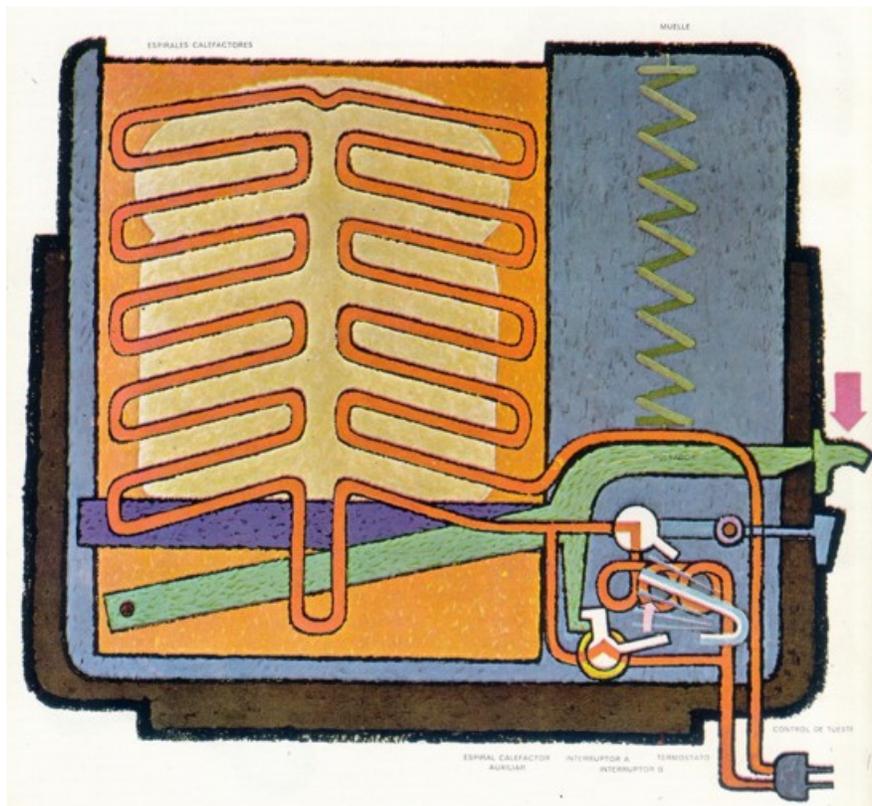
EL GRIFO. Aplicación directa del tornillo simple, es una válvula para controlar el líquido que fluye por un tubo. Un tornillo o perno roscado con una arandela en su extremo se atornilla por medio del mango para asentar la arandela en un agujero.

La arandela, hecha de goma, fibra o plástico, se comprime ligeramente y al apretarla contra el agujero, lo tapa y cierra el paso del agua. Cuando se desatornilla el perno, la arandela sale del agujero y deajo pasar el agua. Un grifo que vierte es porque la arandela se ha gastado y no cierra.

Algunos, como el grifo, son muy sencillos y los hemos tenido desde hace mucho tiempo; otros, como el tostador de pan automático, han estado en evidencia desde unas cuantas décadas nada más. Algunos no son más que dispositivos modernizados que hacen trabajos anticuados (el quemador de petróleo, el refrigerador); otros, como el teléfono, son maravillas que nunca podríamos haber soñado hace un siglo. Todos están diseñados para hacer más llevadera la vida. Pero pocos de los que los utilizan tienen idea de cómo funcionan. Las páginas siguientes ofrecen una guía sencilla sobre el funcionamiento de seis buenos amigos caseros. Aun no siendo un manual de reparaciones, la guía nos proporciona una visión de lo que pasa cuando se da vueltas a una llave en una cerradura o el termostato, se cierra por la noche.

El primer tostador primitivo fue fabricado probablemente dos décadas después que Edison ideara su bombilla eléctrica, y utilizaba el mismo principio: la corriente al pasar por cierta clase de alambres encuentra resistencia y calienta el alambre hasta ponerlo al rojo.

Los primeros tostadores no eran automáticos; pero en 1918 un mecánico de Minnesota, Charles Strite, cansado de las tostadas quemadas ingenió un sistema de cuerda de reloj para cortar la corriente en el momento oportuno. Como la innovación encontraba aceptación, el sistema de cuerda de Strite dio paso a un termostato, y otros refinamientos fueron añadidos para atraer a los consumidores, Ahora los tostadores significan más de 4 millones de dólares al año en los negocios de EEUU.

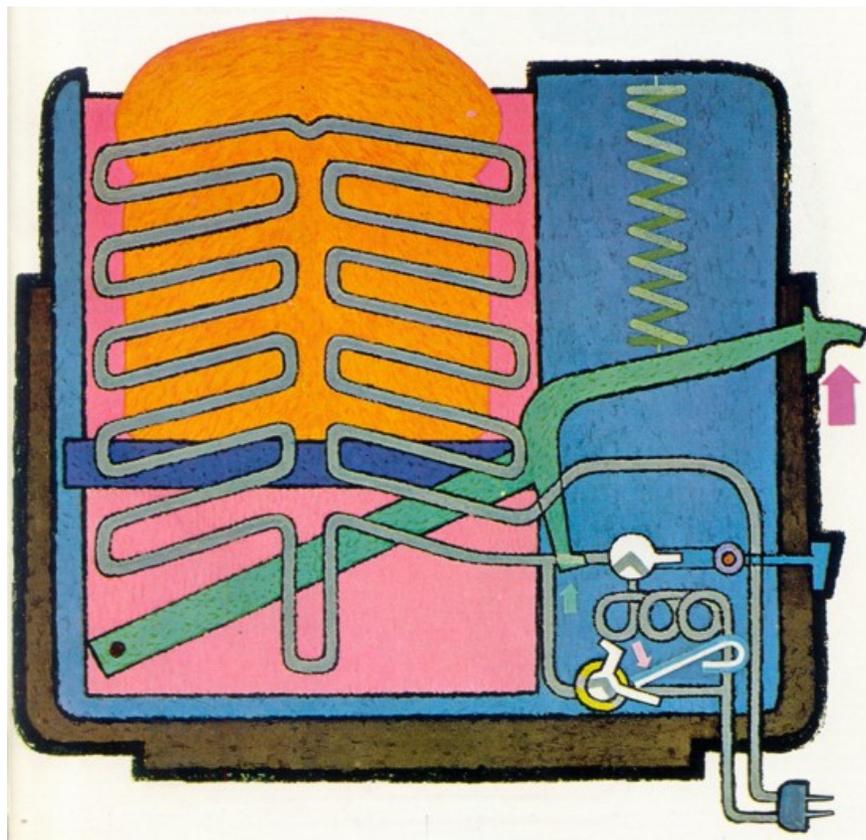


EL TOSTADOR AUTOMÁTICO, CALOR A MEDIDA DE LAS ESPIRALES AL ROJO. El tostador automático puede ser que nunca cambie el curso de la historia, pero ha conseguido un lugar permanente en la cocina moderna norteamericana. Estos grabados ilustran cómo trabajan.

TOSTANDO A GUSTO.

Un tostador automático tiene que conseguir tres cosas: tostar el pan en su punto justo, cerrar el contacto y subir la tostada.

Todo empieza cuando el pan se coloca en la ranura y se baja la palanca. Cuando la palanca llega al fondo, queda enganchada en su sitio por medio de un pestillo en el contacto A. La palanca también cierra el contacto A y cierra un circuito, permitiendo que la electricidad pase a las espirales de tostar de cromo-níquel que hacen resistencia al paso de la corriente, se ponen al rojo y tuestan el pan.



Al bajar la palanca se ha cerrado el interruptor B; esto establece un circuito secundario y la corriente fluye a una resistencia de calentamiento, que calienta el termostato. El calor de la resistencia hace que la tira del fondo se dilate más rápidamente, haciendo doblar el dedo hacia arriba hasta que tropiezo con el interruptor B y lo cierra. El circuito queda cortado, la bobina auxiliar se enfría y el termostato vuelve a su posición primitiva. Al tocar el interruptor A, apaga las espirales de tostar y suelta la palanca que el muelle hace subir, y hace saltar la

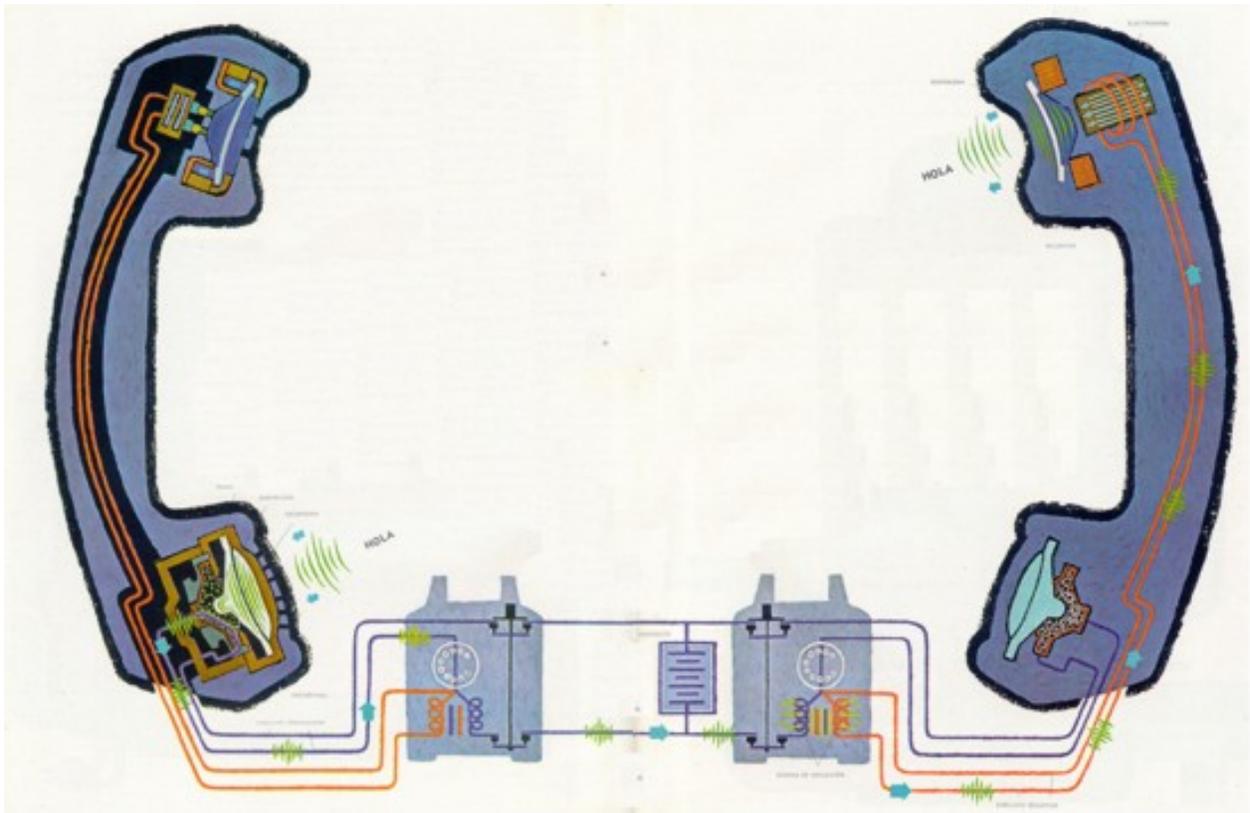
tostada fuera. El botón de control de calor determina el grado de tostado. Al empujar el botón hacia abajo hace subir el interruptor B, así que el termostato tiene que hacer un recorrido más largo para apagar la resistencia auxiliar.

El teléfono; ingenioso imitador de sonido

Cuando Alexander Graham Bell ideó el primer teléfono funcional, en 1876, el mundo estaba habituado al tableteo de los mensajes telegráficos en clave. Pero, hacer que la voz humana surgiera de un alambre pareció cosa de magia negra.

Hoy el teléfono es cosa corriente, y una máquina indispensable para la vida moderna. En los EEUU, los 82 millones de aparatos procuran casi un teléfono para cada dos personas. Sin embargo, para la mayoría de los que lo usan en la actualidad, la forma en que funciona el teléfono es todavía un misterio. Estos dibujos dan una explicación simplificada.

Las ondas de sonido no viajan ni lejos ni rápidamente. Un mensaje eléctrico, en cambio, puede viajar a una velocidad que se aproxima a la de la luz. El propósito de un teléfono por tanto, es traducir las ondas sonoras de la voz en impulsos eléctricos, y de volver a convertir la electricidad en sonido de nuevo. Esto se consigue por medio de dos ingeniosos procedimientos, convertidores, uno en el receptor y otro en el micrófono. En el micrófono el convertidor transforma las ondas sonoras de la voz en patrones eléctricos. El convertidor en el receptor las vuelve a transformar en sonido. El sonido que sale del receptor es tan parecido a la voz del que llama que rara vez pensamos en una buena imitación mecánica.



El micrófono (abajo) contiene el sensitivo, aunque robusto, aparato que convierte el sonido de «hola» en impulsos eléctricos. Las ondas de sonido hacen vibrar la membrana y ésta, a su vez, activa el diafragma, un cono de plástico flexible que penetra en un lecho de granos de carbón. La electricidad del circuito de transmisión (líneas azul oscuro) pasa a través de los granos de carbón cuando se levanta el teléfono. Cuando la vibración del diafragma comprime las partículas de carbón, pasa a través de ellas una fuerte corriente; cuando el diafragma vibra, la corriente se debilita. Estas modulaciones crean patrones de vibración eléctrica

La señal viaja a través de un circuito (líneas azul oscuro) camino del aparato receptor. El circuito transmisor recibe la corriente de un generador eléctrico (abajo). La corriente en este circuito es mucho menor que la del circuito de una casa. Hace falta una milésima igual de fuerza para transmitir un mensaje por teléfono como para calentar un tostador. El mensaje va usualmente por medio de los alambres sobre postes, o por medio de cables subterráneos o submarinos. En muchas llamadas a gran distancia, la señal se convierte en microondas, luego convertidas de

nuevo en impulsos eléctricos. La señal va por medio de alambres al teléfono que se llamó.

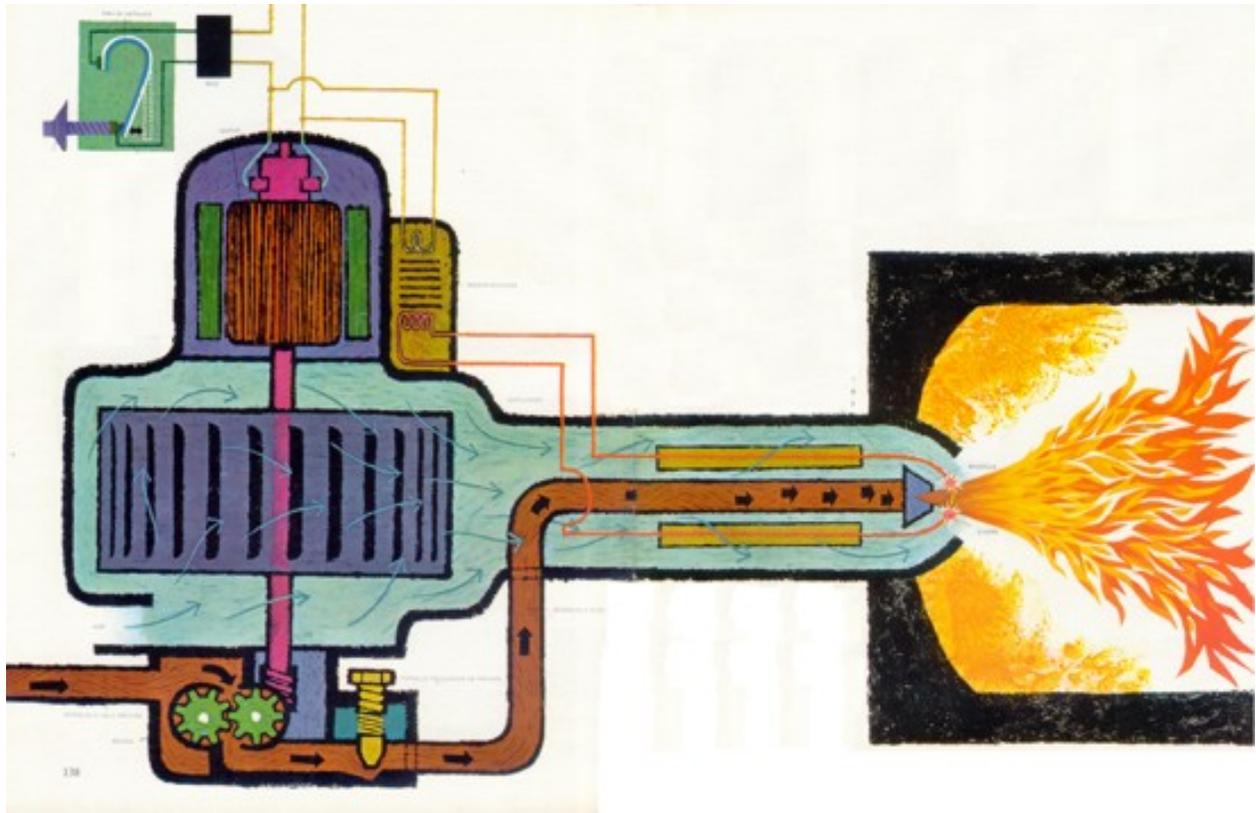
El receptor, o auricular, recibe la señal eléctrica en el circuito de recepción (líneas rojas) después que la bobina de inducción en el aparato receptor (abajo) ha hecho subir el voltaje de la señal. En el auricular hay un diafragma de metal flexible y un electroimán, que aparece arriba en esquema, y en su aspecto verdadero al lado izquierdo. El electroimán es una barra de hierro, rodeada por una bobina de alambre. La electricidad en la bobina crea magnetismo que hace sacudir el diafragma con fluctuaciones diminutas que corresponden a las modulaciones de la señal eléctrica. Las fluctuaciones perturban el aire del diafragma y forman ondas sonoras.

El quemador de petróleo: lanzallamas moderno en el sótano

Los ciudadanos notables de la antigua Roma calentaban sus *palazzos* con sistemas de calefacción en los que los gases de las chimeneas se hacían circular por pasadizos entre las paredes. Estos sistemas eran conocidos con el nombre de hipocaustos. Ahora, 2.000 años más tarde, hacemos poco más o menos lo mismo, pero lo llamamos calefacción central.

Hoy hacemos circular agua caliente o vapor por medio de tubos, o bien aire caliente; para calentar el agua o el aire en muchos de los sistemas modernos, en vez del hogar del hipocausto hay un quemador como el que ilustra estas páginas. Utiliza dos de las fuentes de energía humana más eficientes, el petróleo y la electricidad. Funciona bajo el control de un diseño ingenioso: el termostato.

La patente del primer quemador de petróleo fue obtenida ya en 1885, para un "horno para quemar materias oleaginosas". Pero hasta fines de los años 1920, los quemadores de petróleo no compitieron seriamente por la supremacía con los fuegos de carbón. Desde entonces, los quemadores de petróleo, más caros de funcionamiento que las calderas de carbón, pero más fáciles de manejar y más limpios y de mucho menos trabajo, se han trasladado a los sótanos de más de un millón de casas en los Estados Unidos.



El termostato va activado por una tira curvada que es lo mitad de cobre y la mitad de acero. El cobre (púrpura) se contrae más rápidamente, así que cuando la habitación se enfría, la tira se dobla y toca el contacto eléctrico. El mando varía el espacio entre el contacto y la tira. El relé hace la conexión del termostato a la corriente de la casa.

El funcionamiento del quemador empieza cuando el termostato termina un circuito. El motor hace dos funciones (1) hace girar un ventilador que suministra aire a presión por el tubo de salida; (2) hace girar una bomba de engranaje de tipo sencillo que alimenta el combustible a presión a través de una válvula de tornillo hacia la boquilla.

Un transformador eleva la corriente de 115 volts hasta 10.000, suficiente para producir la ignición del petróleo.

La combustión se produce al final del tubo de salida, donde el combustible a la presión de 100 libras por pulgada cuadrada, se pulveriza en la boquilla. El líquido pulverizado al mezclarse con el aire se hace muy inflamable; encendido por la chispa, salta a la caja de fuegos de la caldera como rugiente llama. A través de las

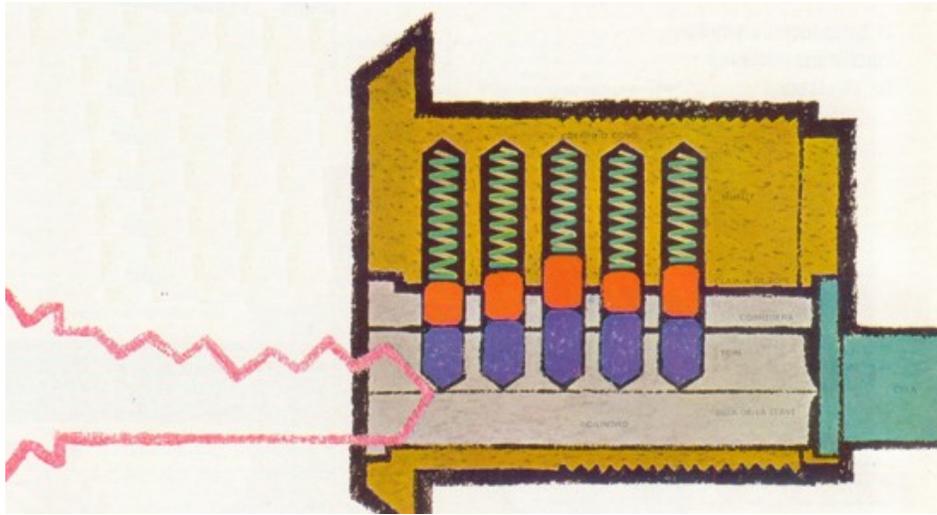
paredes de la caja de fuegos, la llama calienta el aire o bien, el agua, que mantendrán la casa a una temperatura satisfactoria.

Antigua lucha de oficios: el cerrajero contra el ladrón

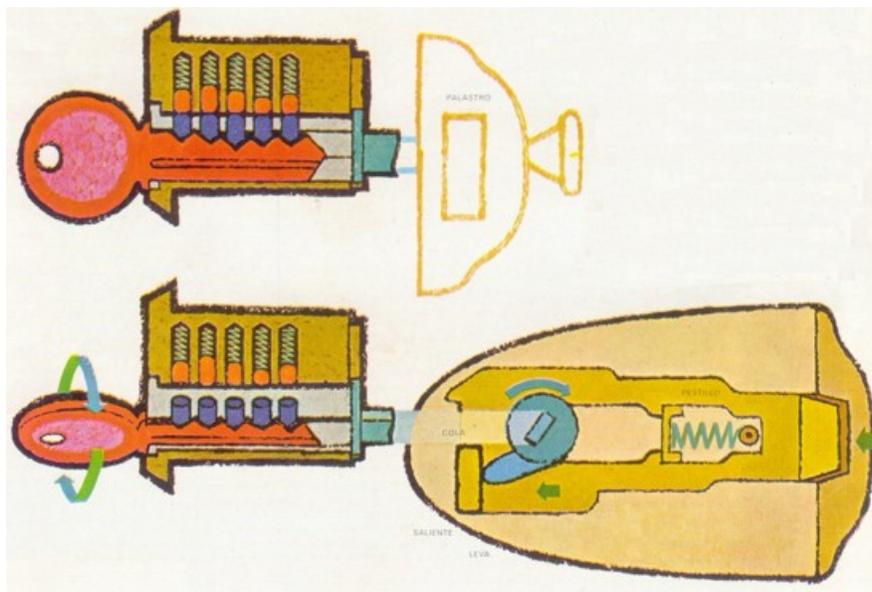
Desde la enorme roca que el cavernícola utilizaba para cerrar su casa hasta los cierres modernos de relojería de los bancos de absoluta seguridad, la historia de los mecanismos de seguridad es fascinante.

Los antiguos griegos desarrollaron una cerradura efectiva cuyo único inconveniente era el tamaño de la llave, el dueño la llevaba a hombros como si fuera un fusil. Los cerrajeros medievales estaban obsesionados por producir una cerradura que fuera a prueba de fuego, la pistola que disparaban para descerrajarla o el cuchillo que cortaba los enganches. Los inventores de la India resolvieron el problema mucho más suavemente: diseñaron el "cerrojo hindú rompecabezas", construido en forma de pájaro, con el ojo de la cerradura escondido en el ala.

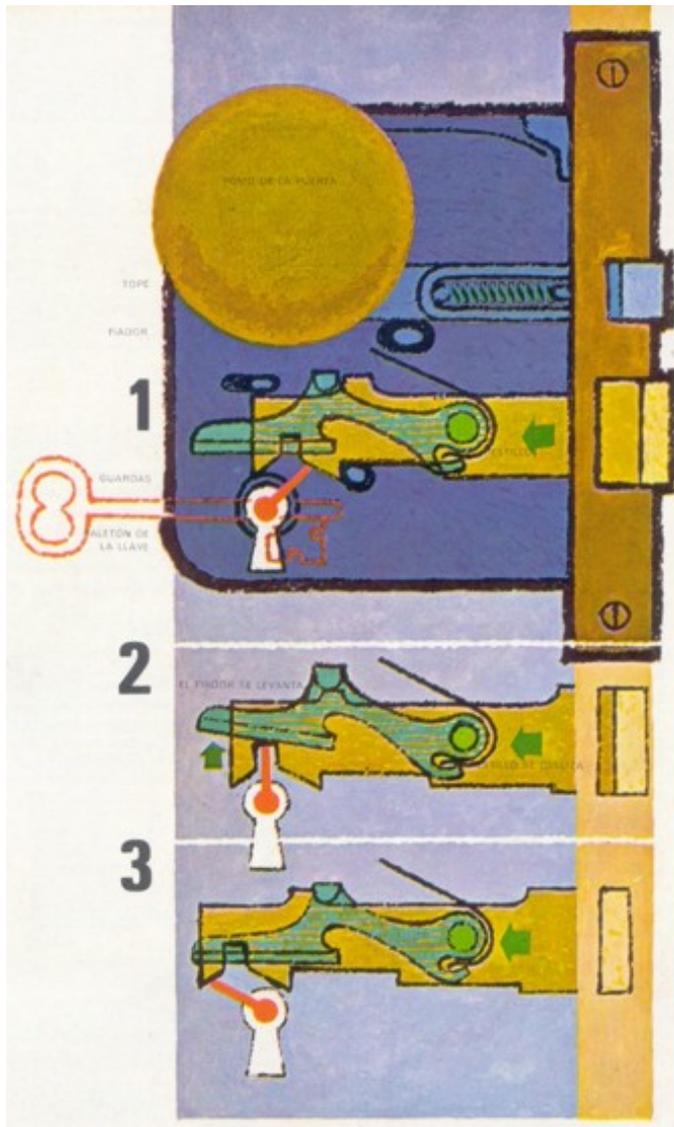
El encerrar al mundo moderno empezó en serio en el siglo XVIII en Inglaterra, con el invento de una cerradura de puerta. No obstante, a pesar de la ingeniosidad británica, el centro del mundo cerrajero se fue al otro lado del océano. En 1851 el cerrajero americano Alfred Hobbs se jactaba que podía abrir las mejores cerraduras que los ingleses le presentaran, pero que ningún inglés podría abrir la suya. Tenía razón en ambas cosas. Finalmente, en la década de 1860, un oscuro retratista americano, siguiendo los pasos de su padre, se hizo cerrajero y perfeccionó la cerradura moderna de seguridad. Pocos conocen su nombre completo: Linus Yale, Jr.



SEGURIDAD CASI ABSOLUTA. La moderna cerradura cilíndrica consiste en un cuerpo grande, dentro del cual puede girar un cilindro pequeño. Cinco cámaras perforadas en el cuerpo y cilindro alojan los muelles que oprimen los pequeños topes color naranja; éstos a su vez oprimen cinco clavijas de tope, azules. No estando la llave en el agujero del cilindro, todas las clavijas de tope descansan sobre la «guía de la llave». El cilindro no puede girar porque los puntos donde los topes se encuentran, varían todos y no se alinean en la corredera.



LA LLAVE DE TODO. Cuando se inserta la llave correspondiente en el agujero, cada clavija de tope encaja en la muesca de la llave. Cada muesca ha sido cortada a una profundidad determinada con objeto que las clavijas de tope queden alineadas en la corredera. Con todas las clavijas de tope ahora dentro del cilindro éste se hace girar dando vuelta a la llave. Esto hace que la cola dé una vuelta y haga girar la leva. La leva empuja el saliente del pestillo, moviéndolo en la dirección de las flechas.



1. El corazón de la cerradura de puerta, ya pasada de moda, es el fiador (azul, arriba). Colocado detrás del pestillo (aceituno) por medio de un muelle, el fiador es simplemente una palanca con un saliente llamado «tope». Como el tope cierra un saliente parecido en el pestillo, impide que éste se mueva en la dirección de la flecha. La llave está empezando a hacer su doble función: su frente levantará el fiador; su lomo penetrará en la muesca del pestillo.

2. El paletón ha girado 180°. Su mitad frontal ya ha levantado el fiador lo suficiente (flecha vertical) para que el tope no impida el movimiento del cerrojo (flecha horizontal). Simultáneamente, el lomo del paletón de la llave ha encajado en el cerrojo y empezado a abrir lo cerradura. El paletón de la llave está ranurado para que pueda pasar a través de una serie de «guardas» que sobresalen de la cerradura. Una llave con diseño diferente no encajará en la cerradura.

3. La llave ha empujado el pestillo hacia lo izquierda hasta que no

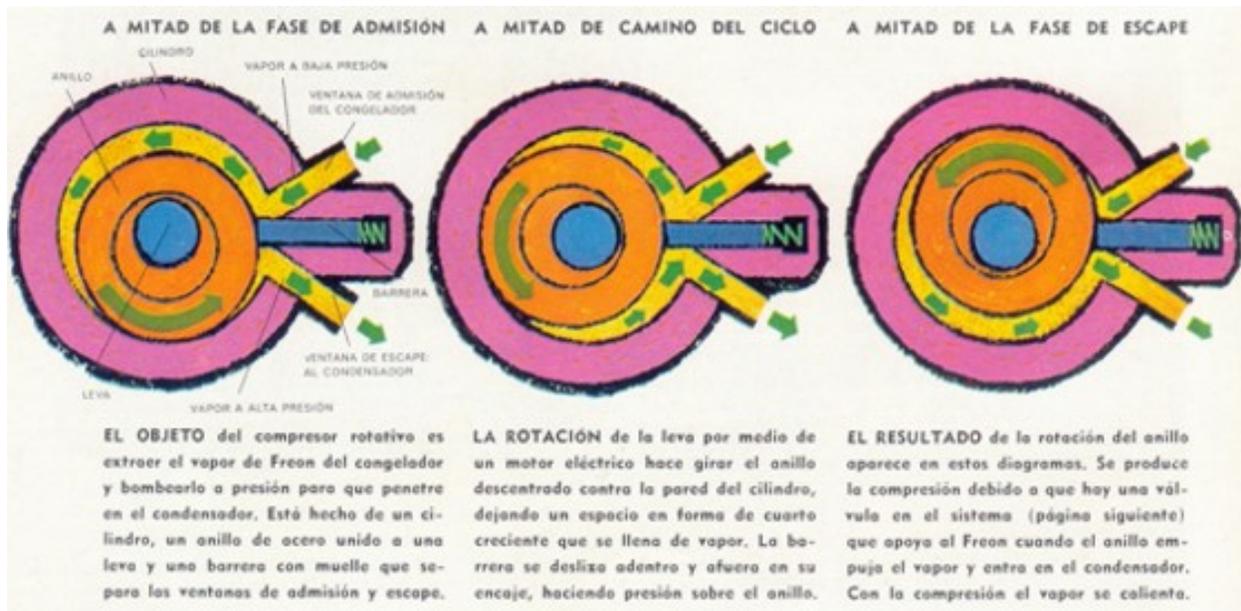
puede ir más; el paletón ya ha salido del encaje del pestillo; la puerta está abierta. Para cerrarla, hoy que leer todas las instrucciones al revés. Estas cerraduras son fáciles de abrir, por eso, para tener mayor seguridad, han sido reemplazadas gradualmente por cerraduras cilíndricas durante los últimos cien años. Todo lo que hace falta es uno ganzúa cuyo paletón sea delgado.

El refrigerador: conservando las cosas frías por medio de calor

De todos los relucientes aparatos que se utilizan hoy en la cocina, quizá el que produce mayor perplejidad en su funcionamiento es el refrigerador. Tranquilo y automático, empieza a enfriarse cuando se enchufa a la corriente, cosa que por lo general produce calor. Estos diagramas dan una idea del procedimiento por el que se conserva duro el helado y fresca la mantequilla.

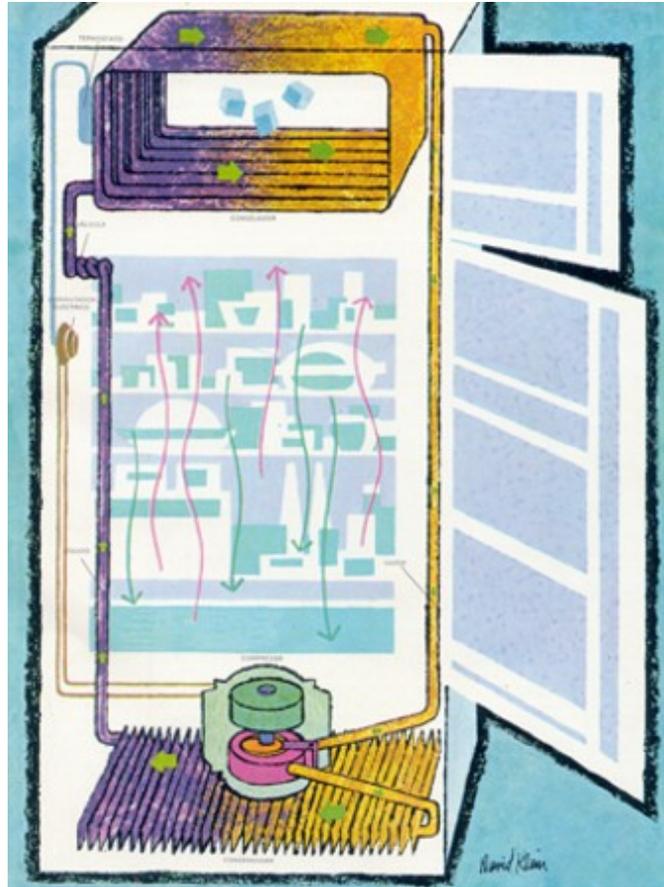
La primera máquina refrigeradora útil fue construida en 1834 por Jacob Perkins, un ingeniero americano. Su torpe diseño, utilizado en empresas comerciales como fábrica de hielo, empacadores de carnes y cervecerías, estaba a gran distancia de las finas máquinas de hoy; pero el ingrediente básico era el mismo: una sustancia singular llamada el refrigerante que hierve y se condensa a temperaturas bajo cero. Las primeras máquinas utilizaban el dióxido sulfúrico, pero ahora la mayor parte de refrigeradores caseros utilizan el Freón.

El secreto del refrigerador es dejar que el líquido frío Freón absorba el calor que procede de los alimentos. El calor hace hervir el Freón y lo convierte en vapor al que se puede hacer perder el calor mientras se licua de nuevo. Otra vez en forma líquida, el Freón vuelve a la refrigeradora, listo para recoger más calor.



Absorbiendo calor de los alimentos en el refrigerador, el Freón líquido hierve en el congelador a temperaturas árticas y se convierte en vapor (amarillo). Éste va al compresor, se somete a alta presión y se calienta a temperatura superior a la del ambiente. En el condensador, que tiene aletas de enfriamiento como las del radiador de un coche, el vapor despidiendo su calor a la habitación. Al llegar a la temperatura aproximada de la habitación, el vapor se condensa, volviéndose líquido de nuevo (azul). Esto sucede, a pesar que el Freón está a una temperatura mucho más elevada que la suya de liquefacción.

El Freón sube hasta una válvula que restringe el paso del fluido y de esto forma mantiene la presión. Al pasar el Freón por la válvula, la presión desciende; pero como está bien por encima de su punto de ebullición para la nueva presión, parte del Freón se vaporiza en el acto. Hace falta energía en forma de calor para convertir un líquido en vapor, y el Freón utiliza su propio calor al tiempo que hierve.



El aire caliente se eleva (flechas) para ser absorbido, mientras que el aire frío pasa a través del refrigerador. El ciclo de refrigeración funciona solamente cuando la temperatura que se eleva en el interior activa un termostato, que hace contacto en el interruptor.

Capítulo 7

Llaves maestras de una era de comunicación

La necesidad de comunicarse es profunda.

Mucho antes del descubrimiento de la electricidad, el hombre había encontrado el sistema de transmitir información más aprisa de lo que podía caminar, correr o montar. La transmitían por medio de penachos de humo, por medio de los sonidos de los tam-tams, cuernos, campanas o disparos de pistola, por el destello del sol en los metales o espejos, y por el resplandor de las luces por la noche en los campanarios.



REPETICIONES SIN FIN. El hombre, junto con el impulso de compartir sus palabras y pensamientos, ha tenido siempre el deseo de darles permanencia. La máquina parlante de Edison llevó a cabo esta fusión. Su modelo D (año 1908) trajo las expresiones de los extranjeros cultos al hogar americano. Se gozaba de sus palabras y canciones, impresas en cera.

Hoy nuestras líneas de comunicación se extienden a través de los continentes y los océanos. La responsabilidad de este milagro cae sobre una nueva raza de máquinas, mecanismos que utilizan las invisibles ondas, fuerza y fluir de la electricidad. Estas máquinas eléctricas abarcan desde diseños primitivos activados por corrientes que laten a través de sus finos nervios metálicos, hasta diseños maestros, que han venido a llamarse «electrónicos» porque dependen de la acción de los electrones en tubos y transistores al vacío. Estos mecanismos extienden nuestros sentidos incluso lo mismo que las máquinas más antiguas extendían nuestros músculos. También han extendido el mismísimo significado de la palabra «máquina».

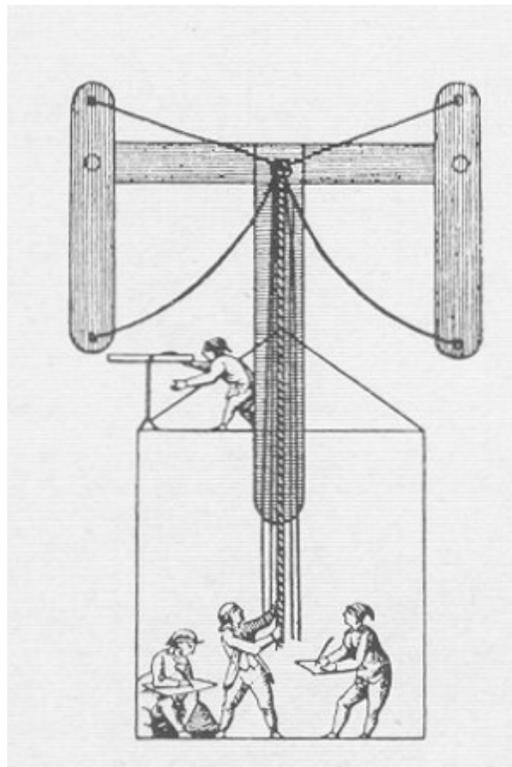
Las máquinas electrónicas traen a nuestras salas de estar al presidente de los EEUU, o una escaramuza en una aldea de techos de paja en el Congo. Con plumas registradoras y líneas oscilográficas cambiantes, registran los latidos de nuestro corazón, la actividad de nuestro cerebro, el movimiento de nuestros ojos durante el ensueño del medio dormir. Procuran claves proustianas del pasado, permitiéndonos oír de nuevo voces calladas desde hace mucho tiempo. Las primordiales entre estas máquinas extraordinarias de comunicación y memoria son el telégrafo, teléfono y la radio; el fonógrafo y la cinta magnetofónica; el cine sonoro y la televisión.

Aunque parezcan inseparables del siglo XX, las máquinas electrónicas tienen sus raíces en las profundidades del pasado, en el acopio gradual de conocimientos sobre la conducción y aislamiento de la corriente eléctrica. En 1729, un inglés llamado Stephen Gray transmitió cargas eléctricas a cerca de 300 metros a través de alambres de latón, e hilo mojado. Dos décadas más tarde, un francés, el abad Jean Antoine Nollet, decidió averiguar a qué velocidad viajaba la electricidad. Hombre de buen humor, así como de curiosidad científica, colocó a 200 monjes cartujos en un círculo de 1,5 km. de longitud, los ató con alambre y envió una fuerte carga por el mismo, averiguando que viajaba muy rápidamente por cierto. Sin embargo, fue esencialmente el trabajo de Volta, Oersted y Henry, descrito en el capítulo 6, lo que dio impulso a la electrónica, la batería de Volta, el electromagnetismo de Oersted y el electroimán de Henry.

El electroimán es, por cierto, crucial en todas las máquinas de comunicación. El electroimán típico, como el que hay en un receptor telefónico, consiste de una

pequeña médula de hierro, envuelta en bobinas de alambre aislado. Como hemos hecho notar antes, está activada por las propiedades de imantación de la corriente eléctrica. Cuando la corriente pasa a través de las bobinas, el hierro se magnetiza. Es increíblemente sensible; tanto si la corriente vibra a intervalos, 50 ó 50.000 veces por segundo, tantas veces la médula pierde o recobra su imantación, reflejando y radiando precisamente la fuerza y duración de la corriente.

En Inglaterra, en la década del 1830, W. F. Cooke, estudiante de medicina, y Charles Wheatstone, físico, dedujeron del descubrimiento de Oersted que una aguja magnética es desviada por la corriente eléctrica, e idearon un telégrafo eléctrico primitivo, precursor dramático del moderno teletipo de la policía.

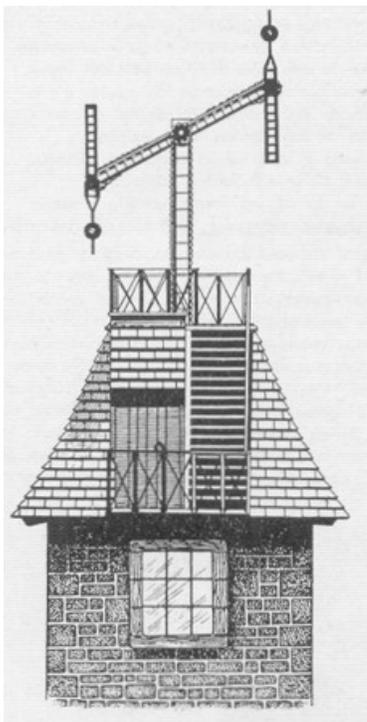


ELOCUENCIA EN MADERA. Uno de los precursores más importantes del telégrafo eléctrico, fue inventado hacia 1790 por un francés revolucionario, Claude Chappé. Consistía en una viga cruzada, por brazos móviles, o semáforos, para transmitir mensajes recibidos por un observador armado con un telescopio, procedentes de otra estación a unos kilómetros de distancia. Los brazos podían adoptar 192 posiciones distintas que representaban letras, palabras, frases enteras.

El día primero de año en 1845, un tal John Tawell mató a una mujer en Slough, envenenándola, y después huyó en tren a Londres, que estaba a 30 kilómetros de distancia. Las autoridades telegrafiaron la descripción de Tawell en seguida. Los detectives londinenses le esperaban cuando llegó a la estación de Paddington. A su debido tiempo fue ahorcado por homicidio.

La inspiración de un retratista

Coincidiendo con el intento de Cooke-Wheatstone, un retratista norteamericano, Samuel F. B. Morse, decidió inventar un telégrafo eléctrico. Un diseño extraordinariamente sencillo establecía el principio básico de todas las máquinas de comunicación que le siguieron: transformación de la información en pulsaciones eléctricas, latidos breves e intermitentes, y su transmisión en forma de señales eléctricas.



UN ARMA SECRETA FRANCESA. Por la rapidez con que transmitían la información militar, las estaciones semafóricas de Chappé, ayudaron a Francia a hacer retroceder a los ejércitos extranjeros que sus vecinos habían enviado para apagar las llamas de la Revolución francesa. La primera línea telegráfica de Chappé, terminada en 1794, consistía en 15 torres parecidas que cubrían la distancia de 230 kilómetros que separan a París de Lille.

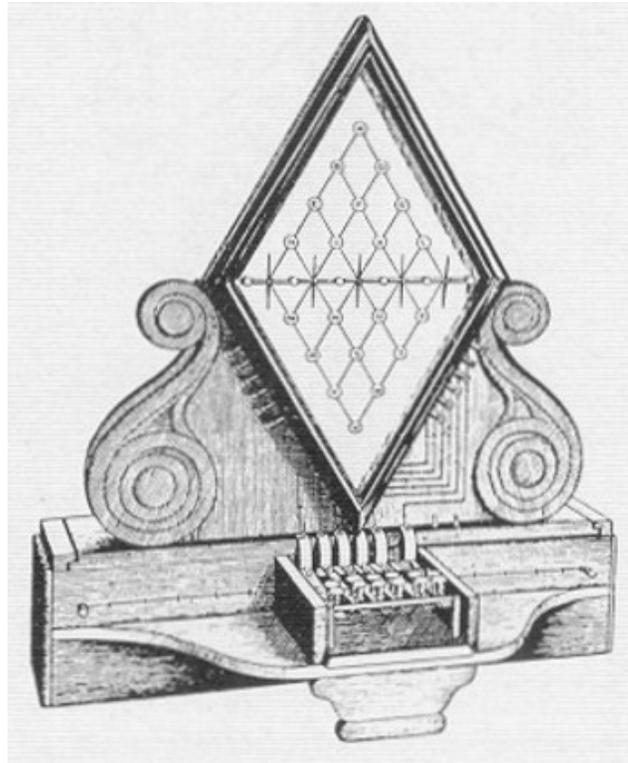
El teléfono, la radio, la televisión y la cinta magnetofónica hacen todo esto. Igual lo hacen nuestros sentidos; recogen información de nuestros alrededores, la convierten en señales de nervios y las proyectan al cerebro.

El telégrafo Morse consistía en una fuente de energía eléctrica, una llave de transmisión, un receptor en forma de un resonador electromagnético, y el cable de unión. Al presionar sobre la llave se activaba el electroimán del resonador. El imán entonces hacía mover el resonador con un clic que se podía percibir. Como complemento a su aparato, Morse ingenió su célebre clave de puntos y rayas. Cada letra y cada número tenían su propia identidad; la letra «a», por ejemplo, era «punto-rama». La más ligera transmisión sobre la llave transmitía un punto. Si se mantenía una pequeña fracción de segundo más, enviaba una rama.

Después de una prolongada discusión en el Congreso sobre el absurdo proyecto de Morse, el gobierno le concedió 30.000 dólares para construir una línea telegráfica entre Baltimore y Washington. Utilizando pequeños platos de cristal como aisladores, ensartó su cable en postes a lo largo del camino. El primer mensaje fue transmitido por el hilo teleográfico el 1 de mayo de 1844. Habiéndose enterado que los liberales, reunidos en un Congreso nacional en Baltimore, habían designado a Henry Clay y Theodore Frelinghuysen sus candidatos para las elecciones a Presidente y Vicepresidente, el ayudante de Morse, Alfred Vail, en su pulsador cerca del empalme de Anápolis, transmitió: «La candidatura es Clay y Frelinghuysen».

Estas palabras, el primer destello de noticias en la historia, ganaron la delantera a los delegados que regresaban en tren a Washington por una hora y cuatro minutos. El 24 de mayo, durante las ceremonias oficiales en el Tribunal Supremo, Morse despachó a Baltimore el primer mensaje oficial de su telégrafo, un pasaje de la Biblia: «¡Lo que Dios creó! ». Las pulsaciones que dio cubrieron la distancia entre las dos ciudades en poco menos de 1/4900 de segundo.

Al cabo de dos años, la red de líneas telegráficas se extendía desde Washington a Portland, Maine, al norte, y hasta Milwaukee por el oeste. No se reconocía universalmente que fuera una ventaja, ni mucho menos. En un distrito, los labradores derribaron kilómetros del tendido, convencidos que extraía la electricidad del aire, perturbaba el tiempo y era la ruina de las cosechas. No obstante, no se pudo evitar el empuje inevitable que había de llevar las líneas hasta el lejano Pacífico.



MENSAJES POR ELECTROIMÁN. El telégrafo Cooke-Wheatstone de 1830, uno de los primeros en funcionar por el sistema electromagnético, tenía cinco agujas colocadas en medio de una celosía. Al apretar las teclas los electroimanes inclinaban las agujas en la dirección de las distintas letras del alfabeto. El diseño de las agujas se transmitía por la línea a la estación receptora, donde las agujas de una máquina idéntica se movían en la misma forma, proporcionando de este modo el mensaje cifrado».

En 1861 dieron término los trabajos y los valientes jinetes del Pony Express hicieron historia. Cinco años más tarde el vapor Great Eastern consiguió tender el cable transatlántico permanente de Cyrus H. Field, desde Irlanda a Trinity Bay en Terranova. Los habitantes de la costa atlántica casi enloquecieron. Pensar que ayer lo que tardaba 12 días por vapor podía transmitirse por la clave de Morse desde Nueva York a Londres en unos minutos.

El ingenio de Morse, con su incesante tic-tac, transmitiendo sus mensajes de clave en las estaciones de ferrocarril y oficinas de telégrafos, pronto llevó a los hombres de imaginación a pensar que si tales sonidos se podían enviar por medio de la línea, también se podría enviar la voz humana de la misma manera.

El soñador destinado a realizar esta hazaña era un joven escocés de pelo oscuro y aspecto byroniano que vivía en Boston, Alexander Graham Bell. Profesor de elocución y lectura por observación del movimiento de los labios, Bell decidió emplear sus conocimientos de acústica y del sistema auditivo humano para desarrollar un mecanismo que convirtiera las ondas sonoras de la voz humana en una corriente eléctrica fluctuante y viceversa.

Una salpicadura y sus consecuencias

Cierto día de junio de 1875, Bell estaba sentado en su laboratorio con un aparato receptor pegado a su oído. En otra habitación, un ayudante, Thomas A. Watson, ajustaba una lengüeta de acero unida a su transmisor experimental. Watson dio un toquécito a la lengüeta. Sus vibraciones llegaron hasta Bell por la línea en un sonido débil, pero inconfundible. Al año siguiente, en la vivienda de Bell, él y Watson montaron un transmisor perfeccionado y empezaron las pruebas. El 10 de marzo de 1876 Bell estaba en su despacho y Watson en una habitación contigua. Al hacer los ajustes preliminares, Bell hizo caer una botella de ácido que le salpicó la ropa. « ¡Mister Watson, exclamó, venga, le necesito! » Watson oyó las palabras claramente, la primera oración transmitida por teléfono.

Fue corriendo. Más tarde, en el mismo año, Bell, que entonces había cumplido los 29 años, recibió de la Oficina de Patentes de los EEUU la número 174.465, que resultó ser una de las patentes individuales más valiosas que jamás haya sido expedida. La versión del primer teléfono de Bell, hoy refinada y producida en cantidades, es casi un aparato indispensable; en 1962 había en todo el mundo unos 150 millones en uso.

Incluso cuando Bell utilizó su invento como un servicio comercial en 1878, otro sueño empezó a ocurrírsele a los hombres. Ya tenían pruebas que la voz humana, así como la clave de punto y raya de Morse, podía ser enviada efectivamente por medio de un hilo. ¿Por qué?, empezaron a preguntarse, ¿por qué un hilo? Las líneas eran de montaje costoso; las tormentas las hacían caer. ¿Es que la milagrosa electricidad podría hacer posible una máquina para enviar mensajes a través del aire, sin hilos?

En 1894, tras muchos meses de experimentos, un inspirado joven italiano que contaba sólo 20 años, Guglielmo Marconi, invitó a su madre al laboratorio que tenía en el ático de su casa cerca de Bolonia. Cuando ella estaba mirando, apretó un botón. Aunque no había alambres de conexión, sonó un timbre en la sala, dos pisos más abajo: La transmisión inalámbrica era un hecho conseguido. Marconi obtuvo de su padre un préstamo de 5.000 liras, entonces unos mil dólares, para proseguir el desarrollo de su invento. Tres años más tarde, en Inglaterra, envió mensajes cifrados por telegrafía sin hilos a distancias de 13 kilómetros. De ahí en adelante sólo fue cuestión de construir transmisores de mayor potencia, receptores de mayor sensibilidad, de refinamiento en los aparatos y en la técnica. Dos años más tarde, Marconi pudo lanzar un mensaje por telegrafía sin hilos al otro lado del Canal de la Mancha, y muy pronto, los acorazados de la escuadra británica, en ejercicios tácticos, se comunicaban con los otros a distancias de sesenta millas.

Una conquista con tres puntos

A continuación, Marconi atravesó el Atlántico. En una pequeña estación experimental de telegrafía sin hilos en Signal Hill, St. John's, Terranova, el 12 de diciembre de 1901 aplicó a su oído un auricular conectado a su aparato receptor, ajustado con gran precisión. Sobre la estación, a unos 130 metros de altura, una gran cometa surcaba el helado y ventoso firmamento, unida al extremo de una fina antena de alambre de cobre. A la hora precisa de las 12:30 de la tarde, hora de Terranova, Marconi oyó lo que le tenía en tensión y lo que esperaba oír, una señal concertada de antemano desde su poderoso transmisor en Cornualles, Inglaterra. Tres breves clics llegaron entre los ruidos y chillidos estáticos, tres puntos, la clave Morse de la letra «S». En 1/86 de segundo, una llamada de un hombre a otro había cubierto 2.170 millas de océano.

El concepto tras de este momento épico no había, ciertamente, llegado a Marconi como un relámpago de procedencia desconocida. Fue su genio para montar y perfeccionar las ideas y diseños de otros, principalmente de dos físicos que habían estudiado la dinámica de las ondas electromagnéticas, el vibrante mar invisible que nos rodea, lo que hoy distribuye fielmente más allá del horizonte humano, las numerosas señales de radio y televisión.

El primero de estos físicos era James Clerk Maxwell, de la Universidad de Cambridge. Maxwell calculó las ecuaciones básicas de electromagnetismo, y en 1865 las utilizó para postular la existencia de ondas electromagnéticas que viajaban por el espacio con la velocidad de luz de 300.000 kilómetros por segundo, radiando de su origen como las ondas en una charca irradian desde el punto del impacto de una piedra que se ha tirado. El segundo físico, Heinrich Hertz, de Alemania, confirmó las hipótesis de Maxwell a fines de los 1880, por medio de dos instrumentos, un oscilador o transmisor y un detector o receptor.

Hertz era capaz de enviar ondas electromagnéticas a través del aire con el oscilador, e interceptarlas con el detector, aunque los instrumentos no estaban conectados en forma alguna. Estas ondas, llamadas durante mucho tiempo ondas hertzianas, son lo que hoy llamamos ondas de radio.

Las múltiples características de una onda

Poco a poco sus características sobresalientes fueron descubiertas. Su tipo de oscilación, o frecuencia, era fantástico, abarcando de 500.000 ciclos a más de dos millones de ciclos por segundo. Algunas podían seguir la curvatura de la tierra. Todas podían penetrar y atravesar muchas sustancias. Al concentrarlas y radiarlas en frecuencias muy elevadas, incluso a través de la niebla y la oscuridad, retrocedían reflejadas como un eco de luz, a los receptores cerca del transmisor, la pista más tarde para el radar.

La radiotelegrafía de Marconi producía señales de clave, discernibles de la siguiente forma: Al apretar el pulsador se cerraba el circuito eléctrico. Esto hacía saltar una chispa un espacio entre dos bolas de metal separadas a poco más de un milímetro de distancia. La chispa producía ondas de radio que pasaban por la antena y salían al aire en series discontinuas de puntos y rayas, que la persona situada al otro extremo podía oír y descifrar. Los transmisores de hoy envían, no unas series discontinuas, sino emisiones constantes de ondas de radio. Al apretar una llave de emisión, el operador puede modificar, o «modular», la forma de las ondas. Estas modulaciones son las que el receptor traduce de nuevo a sonidos.

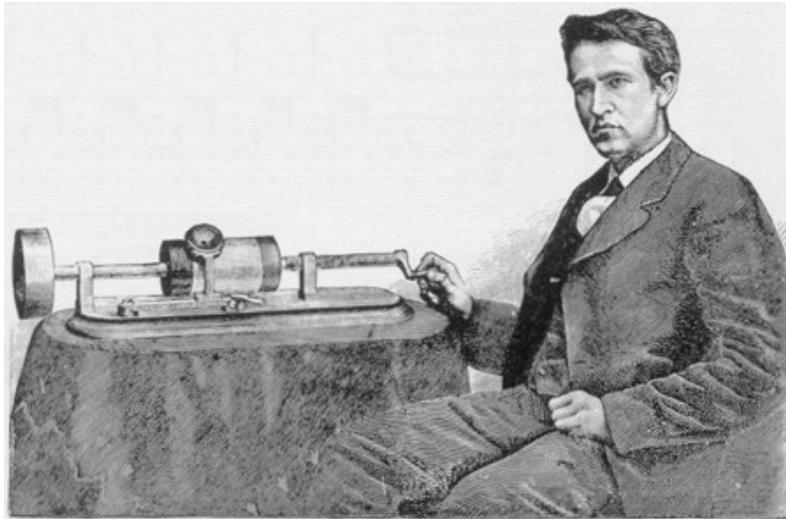
A los pocos años de la introducción del radiotelégrafo de Marconi, el aire era un caos de señales de tiempo, informes sobre el estado atmosférico, emisiones de buques

en alta mar, y la cháchara de algunos operadores. El receptor podía seleccionar el transmisor que deseaba oír por medio de un aparato llamado capacitor variable, que eliminaba otras frecuencias.

Las técnicas básicas de la radio permanecen casi lo mismo hoy que en los tiempos de Marconi, aunque, naturalmente, con adelantos y refinamientos importantes. Uno de ellos ha sido el paso de la radiotelegrafía a la radiotelefonía, al adaptar el transmisor de teléfono al transmisor de radio; las ondas de radio, en vez de ser moduladas por medio de claves telegráficas, fueron moduladas por medio de señales eléctricas creadas por sonidos dirigidos a un micrófono. Un segundo adelanto de incalculable importancia fue el desarrollo del tubo de vacío, un mecanismo de una sensibilidad electrónica muy elevada que podía detectar las señales de radio con mayor eficacia que los detectores de cristales de los primeros tiempos, y amplificar- las tanto en la recepción como en la emisión, con objeto que pudieran ser enviadas a mayor distancia y reproducidas con más fuerza y claridad.

El tubo de vacío fue inventado en 1904 por un inglés, John Ambrose Fleming, como resultado de las observaciones que hizo Edison respecto a sus primeras lámparas de incandescencia, pero que, irónicamente, nunca prosiguió. El tubo de Fleming recogía las ondas de radio tal como venían de la antena y las convertía de oscilaciones en un flujo de corriente, continuo y en un sentido. En 1907, el doctor Lee De Forest, ingeniero americano, construyó un tubo mejorado que fue llamado tríodo, o audión. Un nuevo diseño mejorando el circuito le fue añadido en 1914 por E. H. Armstrong, postgraduado de ingeniería eléctrica de la Universidad de Columbia, que aumentó considerablemente la sensibilidad del audión.

Debido a su capacidad para aumentar las señales eléctricas más débiles con gran fidelidad, el tubo de vacío resultó ser la clave de todas las maravillas de la electrónica moderna, desde el radar hasta el electrón microscópico, desde la televisión a los computadores.



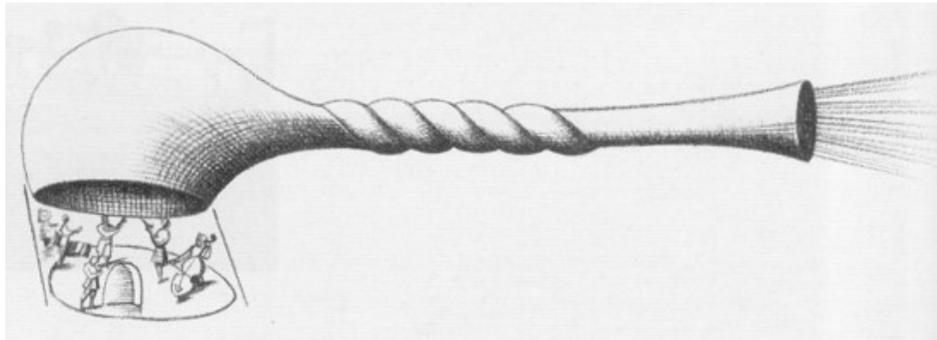
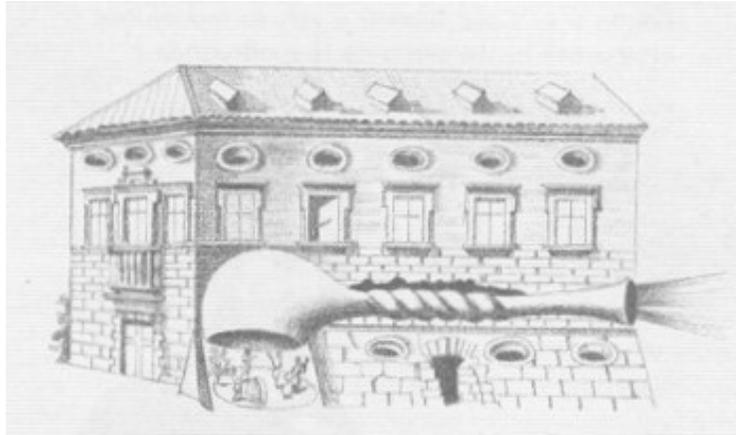
TRIUNFO SOBRE UN PAPEL DE ESTAÑO. La primera grabación fonográfica del mundo fue el verso inicial de «Mary had a little Lamb», hecha por Thomas Edison en su nueva máquina parlante. Fotografiado en 1878, el ingenio funcionaba cuando las ondas sonoras hacían vibrar una aguja e impresionar un diseño de estas vibraciones sobre un cilindro cubierto de papel de estaño. Causó tal sensación que el presidente Rutherford B. Hayes invitó a Edison a la Casa Blanca y estuvo manejando el aparato hasta cerca de la madrugada.

La transición de la máquina mecánica a la máquina electrónica no fue tan evidente e impresionante como en la evolución del fonógrafo y el cine sonoro. Según fue concebido en principio, el fonógrafo, la «máquina parlante», era un diseño mecánico para reproducir las ondas de sonido. Un artista cantaba o tocaba en una bocina. Las vibraciones hacían temblar una aguja de acero y que imprimiese un patrón sobre un cilindro de cera que giraba (más tarde un disco). Cuando un fonógrafo casero tocaba un disco duplicado, su aguja reproducía sus vibraciones originales contra una membrana o diafragma que las convertía de nuevo en ondas de sonido.

De lo tosco al Chippendale

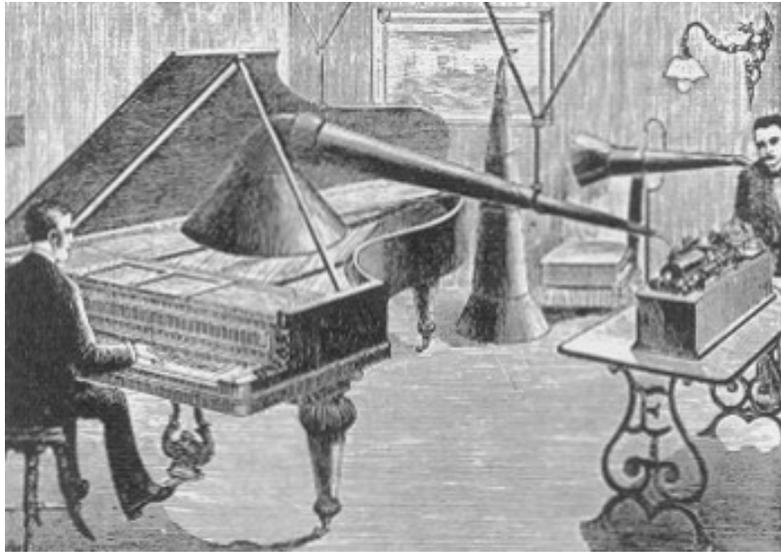
En 1877 un poeta francés desconocido, Charles Cros, pensó en una máquina parlante parecida, pero mientras estaba tratando de encontrar el dinero para producirla, Edison dio con la misma idea mientras manipulaba con un transmisor telegráfico de gran velocidad. Unos meses más tarde entregó a uno de sus mecánicos un borrador de un diseño. «Oiga, dijo, veamos con qué rapidez puede

usted hacer esto.» La leyenda es que el mecánico regresó con un modelo sencillo a las 30 horas, y recibió 18 dólares por su trabajo.



MÚSICA EN LAS CALLES. La música que tocaba una orquesta en un local cerrado de un teatro europeo anterior al siglo XVIII, fue transmitida a la calle por medio de una inmensa bocina acústica (sección arriba, detalle abajo). Tales bocinas estaban destinadas a captar y ampliar las ondas sonoras y llevarlas por el embudo en una dirección. El fonógrafo, en sus primeros días, dependía de recoger el sonido con bocinas acústicas más pequeñas

De este dispositivo, con su tosco cilindro movido a mano por una manivela, la máquina parlante de Edison finalmente progresó pasando a tener motores de cuerda, montados en muebles estilo Chippendale.



MÚSICA DE SURCO. Los primeros estudios de grabación tuvieron su momento en 1890, cuando los discos ranurados, todavía familiares hoy, fueron reemplazando gradualmente a los cilindros de cera. En el dibujo, un fonógrafo de Edison está grabando a un pianista desconocido. El sistema se hizo aceptable para los artistas y actores después de haberlo adoptado el gran Caruso, embolsándose 4000 dólares sólo por su primera sesión de grabación.

Alrededor de la mitad de los 1920, los americanos empezaron a escuchar la radio, las radios que habían incorporado las mejoras en los micrófonos y amplificadores de tubos de vacío de la segunda Guerra Mundial. Comparados con los de sus radios, los sonidos de sus fonógrafos eran apagados, de tonos estridentes y metálicos. En 1924, los investigadores de los Laboratorios de la Bell Telephone habían conseguido desarrollar una nueva técnica de grabación eléctrica, basada en la amplificación por medio de tubos de vacío. Como el radioteléfono, transformaba las ondas sonoras en señales eléctricas, y después las producía, amplificándolas, para el disco matriz del que se harían miles de duplicados. La antigua máquina parlante fue desterrada al desván, destronada por el fonógrafo eléctrico.

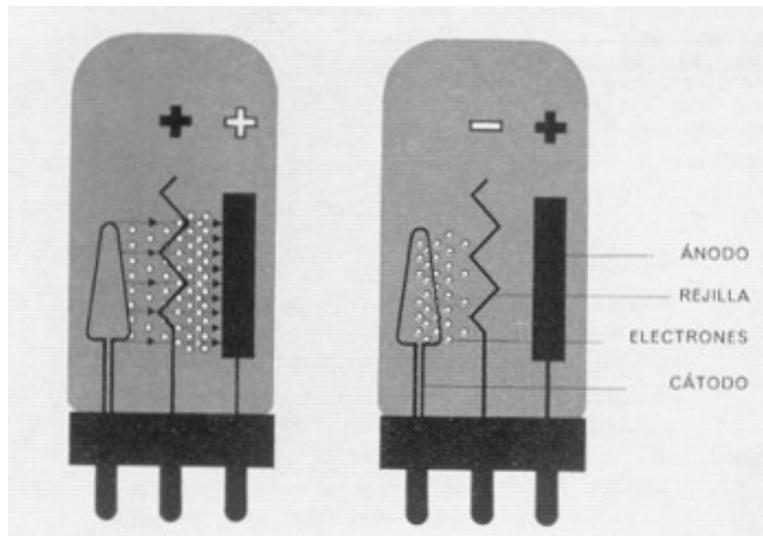
Un desarrollo paralelo tuvo lugar con otro diseño para transformar el sonido en señales eléctricas y viceversa, la cinta magnetofónica. Según funciona esta máquina electrónica hoy, las ondas de sonido penetran en el micrófono; el micrófono las traduce en señales eléctricas, las cuales, amplificadas por un tubo de vacío, pasan a un pequeño electroimán llamado «cabeza electromagnética». Allí establecen una corriente de patrones magnéticos que reflejan las ondas sonoras originales. Al

mismo tiempo, unos carretes giratorios hacen pasar una cinta magnética por la cabeza a una velocidad constante. Un lado de la cinta lleva un fondo plástico tan brillante como las cintas de atar regalos; el otro lado está cubierto de innumerables partículas de óxido de hierro contenidas en un material resinoso. Las mismas partículas están imantadas; al pasar por el patrón de la cabeza de grabación, se colocan ellas mismas al instante y se congelan en una reproducción precisa del patrón. Al volver a pasar la cinta, el proceso se invierte. El patrón de las partículas de hierro imantadas pasa por la cabeza, que convierte el patrón de nuevo en señales eléctricas. Éstas, amplificadas, producen lo que se habló como sonido original.

Recuerdos a la medida

La cinta magnetofónica es, en sentido muy literal, un recuerdo. Almacena las cosas, un concierto de Beethoven, el sonido de las sirenas de San Francisco, el discurso de un estadista, las ternezas de los niños. También registra información para máquinas, de forma que, como veremos en el capítulo 8, cuando se reproduce para una máquina, puede comunicar con aquella máquina. Y, puesto que permite a una máquina, digamos un computador electrónico, almacenar información para uso posterior, puede ser también el recuerdo de una máquina.

La electrónica nos ha permitido injertar en las máquinas todavía otro atributo, hecho con un costo de unos cuantos centavos de alambre, productos químicos y cristal. Es el tubo fotoeléctrico, el «ojo eléctrico», el artilugio que hace abrir las puertas de un supermercado, hace funcionar las fuentes para beber y las señales de alarma contra robo, y hace posible la transmisión, por hilo o radio, de fotografías y grabados. También hace posible la televisión, que ocupa mayor cantidad de tiempo a la familia americana que cualquier otra actividad, excepto el dormir, según determinan las últimas investigaciones.



EL RELUCIENTE CORAZÓN DE LA RADIO. El genio que hizo posible la radio moderna es un recipiente pequeño de cristal con trozos de metal y alambre en su interior, un tubo de vacío. En el interior de este tubo sin aire, el exceso de electrones de un filamento cargado negativamente llamado «cátodo», son arrastrados a una plancha cargada positivamente llamado «ánodo». Entre cátodo y ánodo hay una rejilla cargada negativamente. Como la corriente alterna, la rejilla puede actuar negativamente (abajo, derecha), repeliendo los electrones, o bien puede actuar más positivamente (abajo, izquierda) ayudando a traer los electrones al ánodo. El paso de los electrones al ánodo es lo que amplifica las ondas de radio para producir el sonido.

En un tubo de vacío, un alambre emite o «hierve» electrones, un chorro de electricidad, al ser calentado por la corriente eléctrica. En un tubo fotoeléctrico, un trozo de metal emite electrones cuando la luz brilla sobre el mismo, un fenómeno llamado el «efecto fotoeléctrico». Lo mismo que el micrófono convierte las ondas de sonido en señales eléctricas, así el tubo fotoeléctrico convierte las ondas de luz en señales eléctricas. Éstas necesitan ampliarse antes que adquieran suficiente fuerza para disparar un contacto, abrir una puerta, arrancar o hacer parar un motor. Pueden ser transmitidas por medio de un alambre o bien a través del aire. Al llegar a su destino, las máquinas las convierten en réplicas, o imágenes, de las ondas de luz originales.

Antes de producir la televisión, sin embargo, el equipo de tubo fotoeléctrico y el tubo de vacío revolucionaron el cine. El cine mudo era algo fascinante como espectáculo, pero mudo, pantomímico, bidimensional, mecánico. A esta distraída

función muda, el equipo electrónico le añadió la palabra y la música, el calor de la voz humana y de los violines, el sonido, así como la vista de las noticias.

Los sonidos de la síntesis

El cine y el fototubo hicieron un extraño enlace que marcó la culminación de años de investigación de Lee De Forest, inventor del audión, y de George Eastman, el fabricante de películas, General Electric con sus investigadores, y muchos otros. El resultado, la película sonora, fue una síntesis ingeniosa. Los sonidos, al ser grabados, se convirtieron en señales eléctricas, que modificaban el patrón de un haz de luz en una tira de película junto a los marcos de los cuadros. El convertir este patrón de nuevo en sonido era cuestión simple utilizando un tubo fotoeléctrico. Una luz aguda como punta de alfiler se enfocaba contra el trayecto del sonido; el haz pasaba a través de la trayectoria y daba sobre un tubo fotoeléctrico en el otro lado. Como la película (y la trayectoria) se movían entre ellos, las cambiantes ondas de luz eran recogidas por el tubo fotoeléctrico, y transformadas en diminutas señales eléctricas. Los tubos de vacío las amplificaban; los altavoces las convertían de nuevo en sonido.

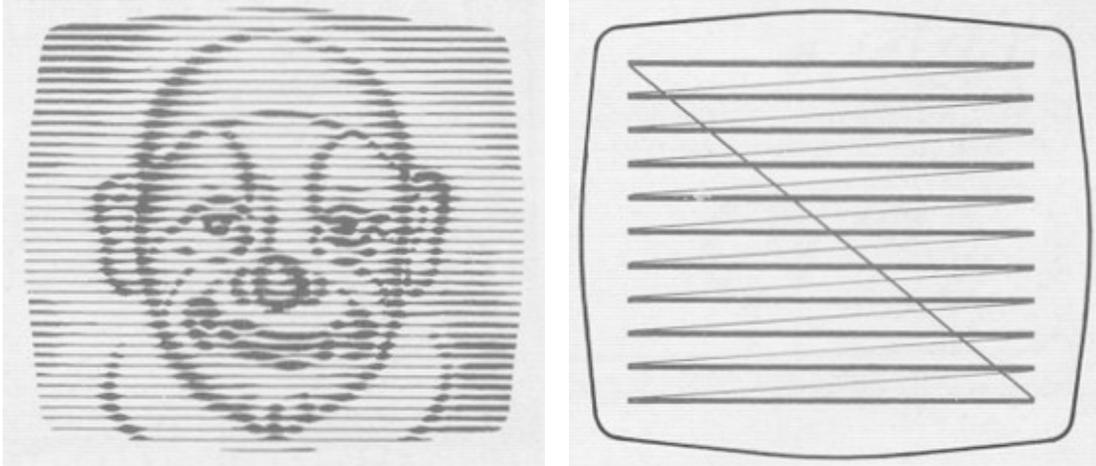
El tubo fotoeléctrico se convirtió en la clave de otros procesos electrónicos. Uno fue el telefoto, la transmisión de reproducciones de cuadros o manuscritos, en pocos minutos, por medio de radio o cable, conseguido por vez primera en la Convención Nacional Republicana de Cleveland en 1924.

En un procedimiento típico, el transmisor sujeta el cuadro a un cilindro horizontal que da 100 vueltas por minuto y al mismo tiempo se mueve hacia los lados. Al dar vueltas, un delgado y constante rayo de luz da en el cuadro en un punto de $1/1.200$ de cm^2 , y refleja precisamente las cambiantes tonalidades de negro, blanco y gris del cuadro. Estos reflejos se enfocan en un espejo que los pasa a un tubo fotoeléctrico. El tubo los convierte en señales eléctricas; tubos de vacío las amplifican hasta tener la fuerza de emisión.

En el extremo receptor, los amplificadores restituyen la fuerza perdida en el pasaje. Una «válvula de luz» electrónica transforma las señales de nuevo en cambiantes intensidades de luz. Éstas se registran en película fotográfica sensible a la luz. Al

término del proceso, el receptor tiene una película negativa que puede utilizar para hacer las positivas de la fotografía original.

HACIENDO MIJECAS EN LA PANTALLA DE LA TV



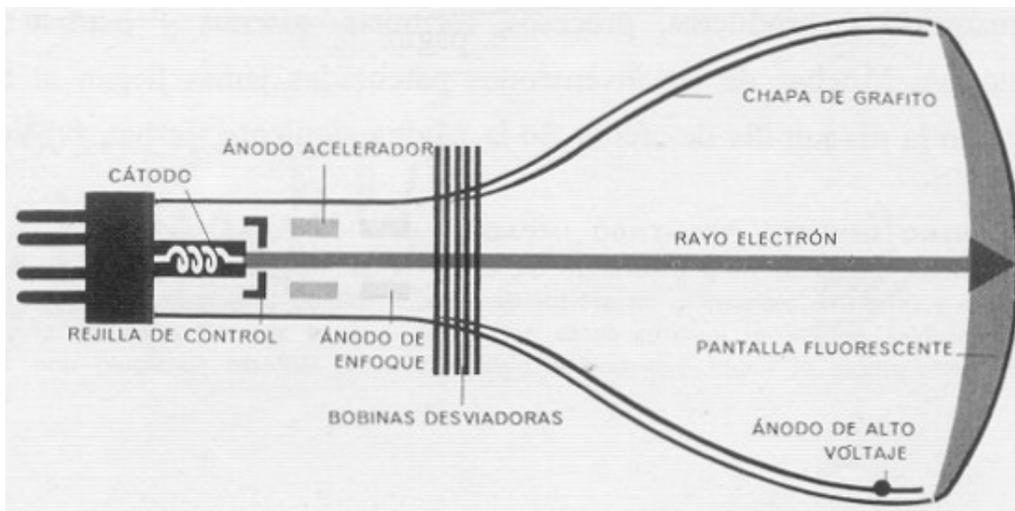
GRABACIÓN POR PUNTOS. La cara de un payaso en la pantalla de televisión de arriba izquierda, ha sido «dibujada» por la afiladísima punta de un rayo de electrones que se mueve adelante y atrás a través de la pantalla en un recorrido como el de arriba derecha. Este modelo sólo muestra 11 de tales movimientos, mientras que el rayo hace 525.

La síntesis lógica de todo esto fue la televisión: la transmisión simultánea, inalámbrica, de la vista y el sonido, proporcionándonos el regalo de ser espectadores totales, como si estuviéramos en realidad donde están la cámara y el micrófono. Hubo, además, otra síntesis con la cinta magnetofónica, «video tape», conseguida finalmente hacia la mitad de los 1950. En éste podían registrarse, no sólo lo que oía el micrófono, sino lo que veía la cámara de televisión.

Lo que había sido un sueño en los años de infancia de la radio, el sistema de observación esencial de la televisión, fue definitivamente montado y refinado en los laboratorios de investigación americanos. Entre las docenas que contribuyeron con sus ideas, sobresalen los nombres de dos: Vladimir K. Zworykin y Philo T. Farnsworth. Zworykin, emigrado ruso, vino a los EEUU después de la primera Guerra Mundial, y en 1929 hizo una demostración de su iconoscopio, el primer ojo electrónico de la televisión. Farnsworth desarrolló el orticón de imágenes, el ojo de la cámara de televisión más perfeccionado que se utiliza hoy.

Un caso de blanco, negro y gris

El proceso de televisar un cuadro empieza cuando la cámara de televisión dirige la imagen del sujeto a un orticón de imágenes: un tubo electrónico de unos 37 cm de longitud. Dentro del tubo hay una rejilla de un material sensitivo y ligero. Sobre ésta se proyecta la imagen de una miniatura perfecta.



UN RAYO DE ELECTRONES ATÁREADOS. El mundo tras de la pantalla de su televisión, no sospechado por el telespectador supino, es un bullir de activos electrones. Las pulsaciones eléctricas que representan una imagen son enviadas al cátodo del tubo del cuadro de televisión. El cátodo emite electrones cuyo flujo está regulado por la rejilla de control, impelidos por el ánodo acelerador, y concentrados en un solo rayo por el ánodo de enfoque. Este rayo electrón se ve desviado por dos series de bobinas electromagnéticas, y obligado a moverse hacia adelante y atrás por la pantalla visora, que está cubierta por su parte interior con productos químicos que despiden luz con el choque de los electrones. Después de regar el cuadro sobre lo pantalla, los electrones salen a través de una chapa de grafito a un ánodo de alto voltaje, unido por un alambre al exterior del aparato de televisión.

La imagen está compuesta de ondas lumínicas de diversas intensidades; éstas son las que hacen los blancos, negros y grises en una película sin color. Las ondas de luz, según sus intensidades, producen un número variable de electrones para ser emitidos, tanto desde esta rejilla como de una pantalla-blanca adyacente. Se forma una imagen eléctrica en la pantalla-blanca en los lugares que dejan los electrones que faltan.

Al otro extremo del tubo electrón hay un disparador electrón, llamado así porque, al calentarse, dispara un agudo rayo explorador de electrones. Este rayo escudriña la pantalla-blanca a razón de 30 veces por segundo, y salta sobre una plancha colectora, donde genera una corriente eléctrica variable. Esta corriente produce otra representación eléctrica del cuadro original, que se envía a un amplificador, a través del aire por los brazos metálicos de las antenas.

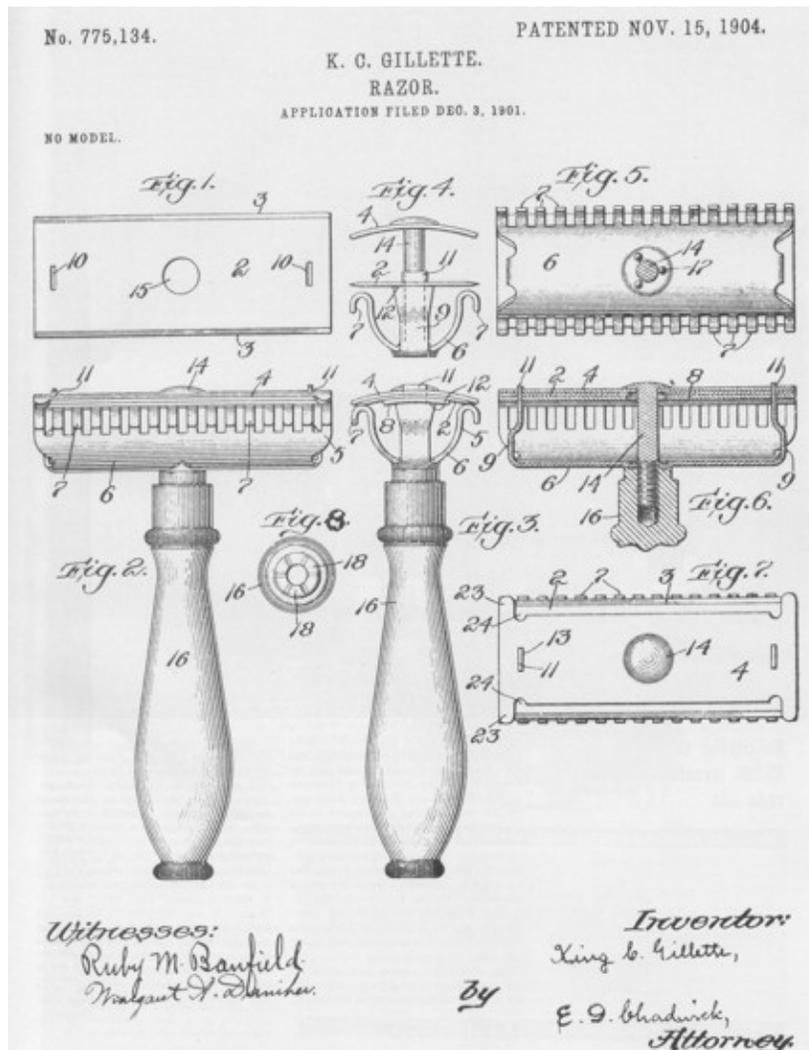
En el aparato de televisión casero, la corriente variable, después de ser detectada y amplificada, pasa al kinescopio, o válvula de cuadro. Es poco más o menos piramidal en su forma. En su extremo mayor, la habitual pantalla fluorescente de visión; en el extremo menor tiene su propio disparador de electrones. El rayo del electrón disparador está enfocado a la pantalla y se mueve por la misma, haciéndola brillar. La fuerza de este rayo varía de acuerdo con las señales eléctricas que vienen de la antena. Esta variación produce puntos brillantes y oscuros sobre la pantalla de casa en correspondencia exacta con la pantalla de la cámara de televisión.

Cuando contemplamos fascinados las espectaculares reproducciones de la realidad en nuestra pantalla de televisión, es posible que haya en la misma habitación un teléfono y un fonógrafo. En nuestra mesa de noche hay una radio; otra nos hace compañía en el automóvil. Estas máquinas extrañas jamás se mueven si no las movemos; sólo se ponen en actividad cuando las tocamos. Pero hay que apreciarlas como se merecen; nos sirven bien. Nos informan de los distantes centros comerciales con sus trillones de nervios, de las noticias, de nuestras fuerzas armadas. Y a través de los días y noches de nuestras vidas nos protegen de la soledad y nos aproximan los unos a los otros. Quizá algún día nos convertirán en hermanos.

La mano tendida de la oficina de patentes

Entre los poderes que la Constitución ha investido al Congreso hay uno: «fomentar el progreso de la ciencia... reservando por tiempo limitado a... los inventores el derecho exclusivo a sus... descubrimientos». La Oficina de Patentes decide si un inventor merece el «derecho exclusivo», patente, para excluir a los demás de la fabricación, venta o utilización de su creación durante 17 años, a cambio de hacer

público su secreto. Se concede sólo la patente para un invento que es nuevo y útil. Estos criterios se desarrollaron desde 1790, cuando se expidió una concesión para la fabricación de potasa por un sistema, primera de las patentes de los EEUU, que se elevan a más de tres millones, sobre maquinaria, productos, procesos, fórmulas, diseños y plantas (principalmente flores). Muchas de las invenciones patentadas jamás llegan al mercado; otras, como la maquinilla de afeitar, se han fabricado a millones.



PEQUEÑO INVENTO, TREMENDO IMPACTO. El primer dibujo de King C. Gillette de su primera y primitiva maquinilla de afeitar de hojas cambiables detalla el invento desde todos sus ángulos, menos el social. Las barbas bigotes y perillas desaparecieron de las caras masculinas debido al sistema barato y fácil de Gillette. Durante sus 17 años de protección, la Compañía Gillette consiguió una situación ventajosa.

Solicitudes de 85.000 inventos cada año



DONDE SE PRESENTAN LAS PATENTES. El edificio del Departamento de Comercio, queda frente a la Avenida de la Constitución en Washington, D. C., es el hogar de la Oficina de Patentes de los EE. UU. Cuando las tropas británicas incendiaron la ciudad en 1814, el primer jefe de la Oficina de Patentes, William Thorton, les persuadió para «que no incendiaron lo que era útil para la humanidad».

El edificio grande y grisáceo de columnas representa un obstáculo mayor para todos los inventores del país. Es el edificio del Departamento de Comercio de Washington, que alberga a 2.400 empleados de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos. A este edificio llegan todos los años los planos de 85.000 inventos en demanda de patente. Cualquiera puede solicitarla, pero considerando que hay sin resolver 200.000, a veces les parece raro a los cansados funcionarios que alguien lo haga. Los procedimientos son lo suficiente complejos para que los solicitantes hagan uso de un abogado o gestor.

Los abogados y agentes de patentes están absolutamente protegidos; deben pasar un examen de funcionarios del Estado, y estar a la altura del elevado nivel

establecido por la Oficina de Patentes. No se les permite anunciarse o buscar publicidad, por ejemplo. Las solicitudes de patentes sencillas pueden costar al inventor de 300 a 500 dólares en honorarios de gestoría, y las complicadas, 3.000 dólares o más. Encima de esto, hay unos 60 dólares de honorarios de la Oficina de Patentes. Una búsqueda de patente y los dibujos adecuados para acompañar la solicitud pueden subir hasta otros 100 dólares. Si hay interposición de recursos para revocar las decisiones de la Oficina de Patentes, hay que aumentar los honorarios y gastos judiciales. A pesar del importe de la inversión, sólo una mitad de las 51.000 patentes concedidas cada año logran desarrollarse comercialmente.



ESCALONES PARA CONCESIÓN DE PATENTE. Los dibujos detallan los 4 escalones que hoy que pasar antes que se conceda la patente a un invento. De invención a patente pueden ser sólo seis meses a tanto como dos décadas en casos excepcionales. La General Motors Corporation tuvo que esperar 23 años para su solicitud de una patente de llave para un estrangulador automático.



EL PRINCIPIO DE UN LARGO VIAJE. Fred I. Bennett, empleado de la Oficina de Patentes a cuyo cargo está el correo, empieza el procedimiento para más de 300 solicitudes de patentes que pasan por su mesa cada día. De Bennett, la solicitud va a la sección de Hacienda, después a la sección de solicitudes para que le pongan un número y luego a uno de los 1.100 examinadores de la Oficina.

Tiempo transcurrido desde el cesto de entrada al de salida: tres años y medio

Leo Friaglia está graduado en ingeniería mecánica y es un experto en vehículos terrestres. Desde 1947 es examinador en la Oficina de Patentes, uno de los 1.100 especialistas en todos los terrenos de la tecnología que lo tienen todo, excepto la última palabra en cuanto a una patente.

Como sus compañeros, Friaglia resuelve unas 80 solicitudes de patente cada año. Una solicitud llega a su poder alrededor de una semana más tarde de su entrada en el despacho del empleado del correo. Ese tiempo va empleado en registros y distribución. A causa de la acumulación de la Oficina de Patentes, Friaglia puede ser que no empiece su estudio de una solicitud en seis meses.

En el transcurso de su estudio, comprobará todo lo que alguna vez se haya patentado o publicado en el terreno general de la invención para determinar su novedad y utilidad. De cada 30 aprueba una en la forma propuesta por el inventor, y la patente se expide al cabo de unas semanas. En las otras 29, rechaza una o más

de las peticiones de la solicitud y notifica al inventor las razones de su decisión. El inventor tiene entonces seis meses para revisar la solicitud o para abandonarla. La mayor parte de los inventores revisan, hasta tres veces o más, hasta que Friaglia la rechaza definitivamente o la aprueba. Por aquel entonces, la solicitud puede haber estado en este procedimiento más de tres años y medio, dos terceras partes de lo cual pueden achacarse a las demoras en la Oficina de Patentes. A veces los solicitantes incurren en demoras deliberadamente. Esto les da algún tiempo más para desarrollar y poner en el mercado un producto bajo la etiqueta de "Pendiente de patente".



BANDEJAS LLENAS DE SABIDURÍA. El examinador de patentes Leo Friaglia inspecciona una bandeja-archivo de patentes, para ver que una solicitud no pretenda algo que ya está patentado. Aunque está relativamente bien pagado (\$14.000 al año), los examinadores de patentes son de habilidad tan extraordinario que un 20% se marchan al año para ocupar puestos más remunerados.



CON TODA LA EVIDENCIA REUNIDA. En su despacho. Friaglia estudia la solicitud para cerciorarse que el invento está descrito claro y totalmente y que cada parte distintiva del mismo está reseñada en los dibujos que la acompañan. Rechazará al instante cualquier invento que no sea patentable legalmente, por ejemplo, un sistema de hacer negocios o que viole la seguridad nacional.



*REUNIÓN PARA CASOS DISCUTIBLES.
Friaglia en conferencia con su supervisor
(de espaldas a la cámara) y un abogado
de patentes que ha llegado de
Milwaukee para ajustar una reclamación
de patente que Friaglia ha cuestionado.
El abogado, que también es graduado en
ingeniería eléctrica, va a Washington
una vez por mes para procurar obtener
decisiones en las solicitudes pendientes.*

Premio del ganador: concesión de una patente con cinta y lacre

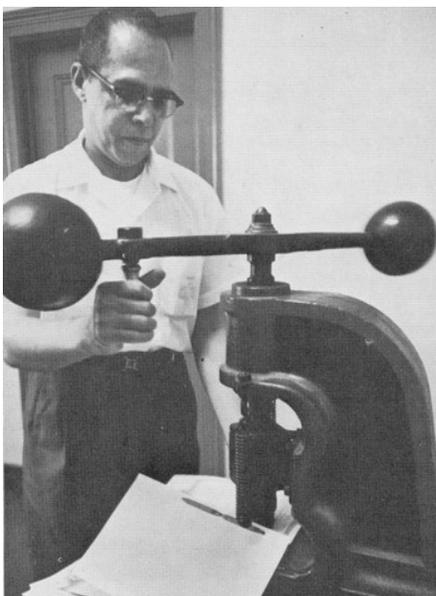
El caballero que está sacudiendo la mano en la fotografía abajo, es un abogado de patentes que explica a los jueces del Tribunal de Apelación de la Oficina de Patentes, que un examinador ocasionó un perjuicio a su cliente al rechazar su solicitud. El recurso es oído por los tres jueces, elegidos entre los 15 que hay permanentes y nombrados por el Presidente, más otros 10 por el Comisario de Patentes.

La argumentación del abogado es un factor menor en su decisión definitiva; más pertinentes son, la solicitud original, la decisión del examinador, las revisiones del solicitante, las patentes anteriores y relacionadas, y las razones expresadas en el recurso escrito del solicitante. Al abogado no se le permite introducir evidencia nueva; puede solamente procurar aclarar puntos con objeto de volver atrás la decisión del examinador. Los mismos examinadores no son llamados para defender sus decisiones. Un recurso cuesta al inventor \$25 más los honorarios de su abogado. La Ley previene que un inventor debe llevar su caso al Tribunal de Apelación antes que llevarlo a los tribunales federales. Se registran unos 1.000 recursos cada mes en la Oficina de Patentes, pero sólo la mitad de ellos llegan a ser oídos por el tribunal. Una de las razones es que ahora se tarda de 12 a 14 meses

para que un recurso llegue al tribunal. Otra es que un 70 % de los recursos son rechazados, porcentaje que incluso entienden los inventores no matemáticos.



DEFENSA DEL DEMANDANTE. Los jueces J. L. Brewrink (izquierda), L. P. McCann y C. D. Angel prestan atención a un abogado de patentes que tiene exactamente 30 minutos para defender el caso de su cliente para volver atrás una decisión. Aunque el calendario del Tribunal de Apelaciones está completo, los casos que los jueces tienen que ver llegan a 1/16 de las solicitudes rechazadas.



MÁQUINA VIEJA PARA PATENTES NUEVAS.

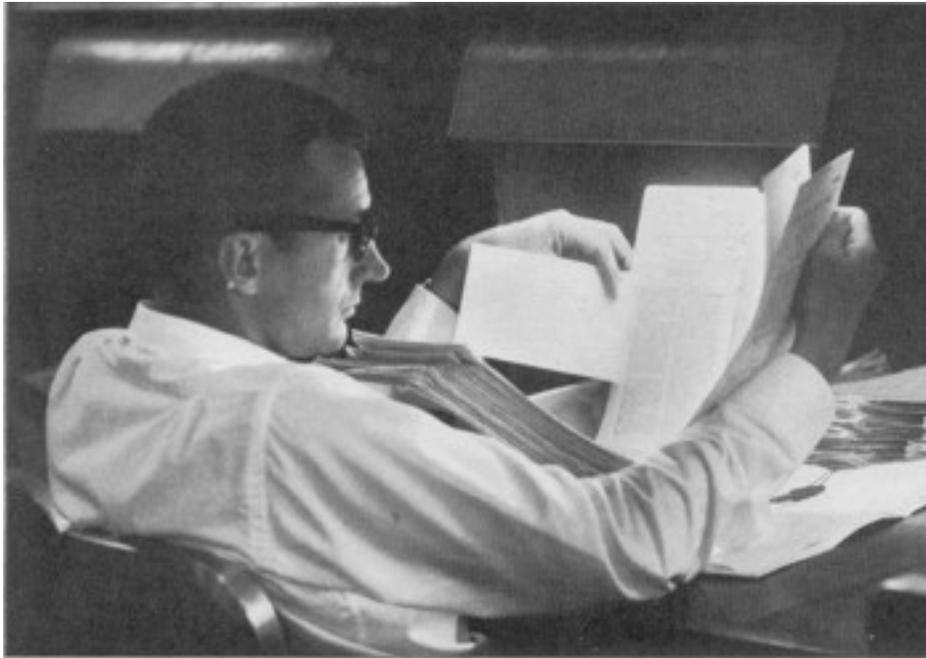
Daniel I. Butler, revisor de la Oficina de Patentes, hace funcionar una máquina de estampar del siglo XIX, que pone el sello oficial en una carta de patente. La expedición de cartas-patentes tiene lugar los martes al mediodía. A la misma hora, una descripción y un dibujo clave de la invención, se publican en la «Gaceta Oficial» de la Oficina de Patentes.



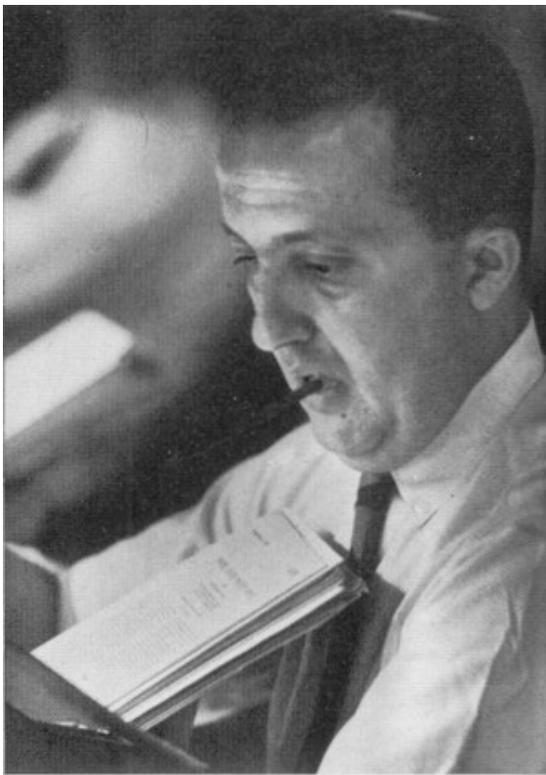
Cinta y lacre roja hacen de la carta-patente un bello documento.



La Sala de Averiguaciones de la Oficina de Patentes ofrece las patentes de EEUU desde 1836 en 308 clases y 59.000 subclases.



EN BUSCA DE PATENTES QUÍMICAS. Donavon Lee Favre, un investigador profesional de patentes, independiente, examina un montón de patentes químicas. Favre ha sido investigador durante tres años. Está graduado en Química y en Leyes y proyecta examinarse por escrito para hacerse abogado de patentes.



INVESTIGANDO PATENTES ELÉCTRICAS. Un abogado de patentes de la General Electric estudia las patentes eléctricas para el Communication Products Department de su compañía en Lynchburg, Virginia. Su investigación servirá para comprobar que la General Electric no trabajará en ideas que ya están patentadas.



EXAMEN DE PATENTES MECÁNICAS.

Richard Wagner escudriña un archivo de patentes mecánicas en la mesa de otro investigador. Wagner es un investigador independiente y que empezó a trabajar a los 19 años para su padre, abogado de patentes. Ha estado ocupado en este trabajo casi 30 años.

De patentes anteriores, indicaciones e ideas para patentes futuras

Puesto que la originalidad es una de las piedras de toque para la expedición de patentes, la búsqueda de lo que puede ser nuevo bajo el sol debe empezar con lo que es viejo bajo el tejado de la Sala de Averiguación de la Oficina de Patentes.

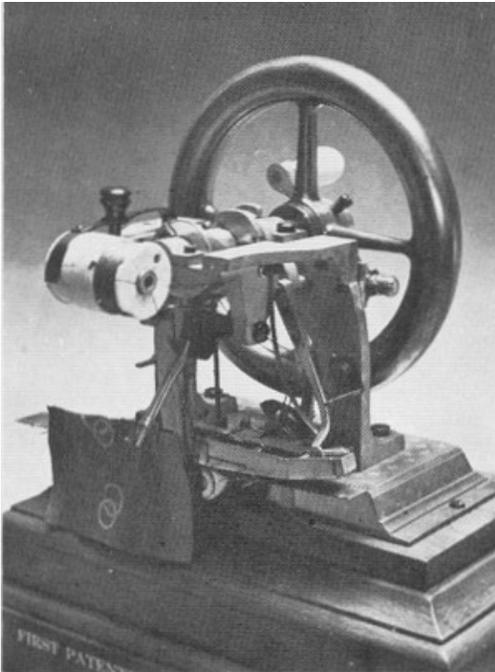


UN TESORO DE CONOCIMIENTOS. Las pilas que empequeñecen al investigador de patentes en la nave, son dos de la docena de unidades de archivo de 65 m de largo que contienen copias de más de tres millones de patentes americanos. Están impresas en papel especial para resistir el desgaste.

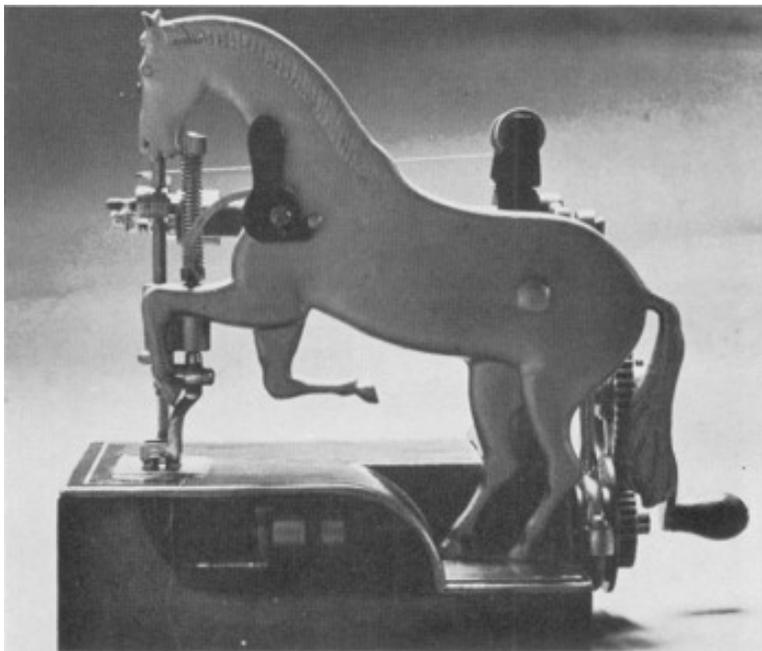
A media mañana, seis días a la semana, la sala está llena de gente que busca información de patentes. Hay más de tres millones de patentes de los Estados Unidos y siete millones de patentes extranjeras, disponibles al público. Los que quisieran ser inventores y no pueden hacer el viaje a Washington pueden valerse de investigadores profesionales para que hagan la búsqueda por cuenta suya.

Modelos de patentes: encantadores recuerdos de inventos del pasado

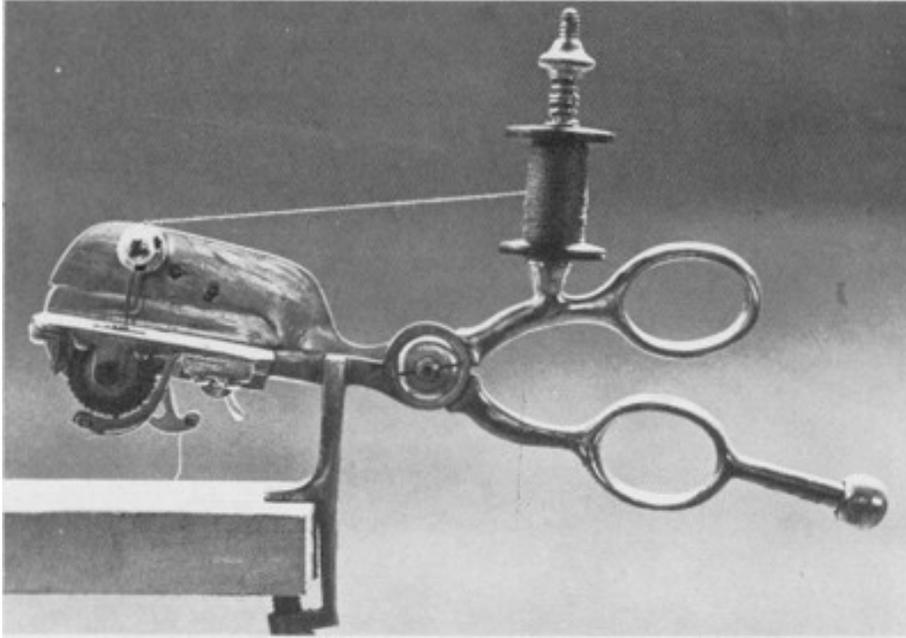
El requisito que a las solicitudes de patentes acompañaran modelos de funcionamiento se abandonó en 1870. Pero en 1925, los gastos de almacenaje de los modelos acumulados, provocó una limpieza. Algunos modelos se llevaron a la Smithsonian Institution, y 200.000 se vendieron en subasta pública. O. Rundle Gilbert, de Garrison, Nueva York, finalmente adquirió la mayor parte de ellos. Exhibe unos 5.000 en un museo de Plymouth, Nueva Hampshire, y tiene 120.000 más en Nueva York. Sólo le falta una máquina de movimiento perpetuo, única invención de la cual la Oficina de Patentes no ha recibido nunca ningún modelo que funcione.



UNA PUNTADA EN UNA DÉCIMA DE TIEMPO. El modelo de 1846 de Elias Howe de una máquina de coser con punto de cadeneta comprendía una patente básica. Él y Sir Isaac Singer figuraban en la primera asociación de intereses que percibía derechos de \$15 (más tarde) por cada máquina de varias empresas.



SIMBOLO DE RAPIDEZ PARA LAS MODISTAS. El caballo pisador añade encanto a la máquina de coser con punto de cadeneta de James Perry, de 1858. El método de Perry no estaba cubierto por la patente Howe, y podía vender barata su máquina. Pero las costuras de punto de cadeneta se deshacían fácilmente.



ACCIÓN DE TIJERAS PARA COSER. Esta máquina de coser de tipo tijeras representa otro intento para deshacerse de la patente de Howe. Estaba diseñada para atornillarla a una mesa y funcionar moviendo los mangos de las tijeras con una mano mientras que se empujaba la tela con la otra.

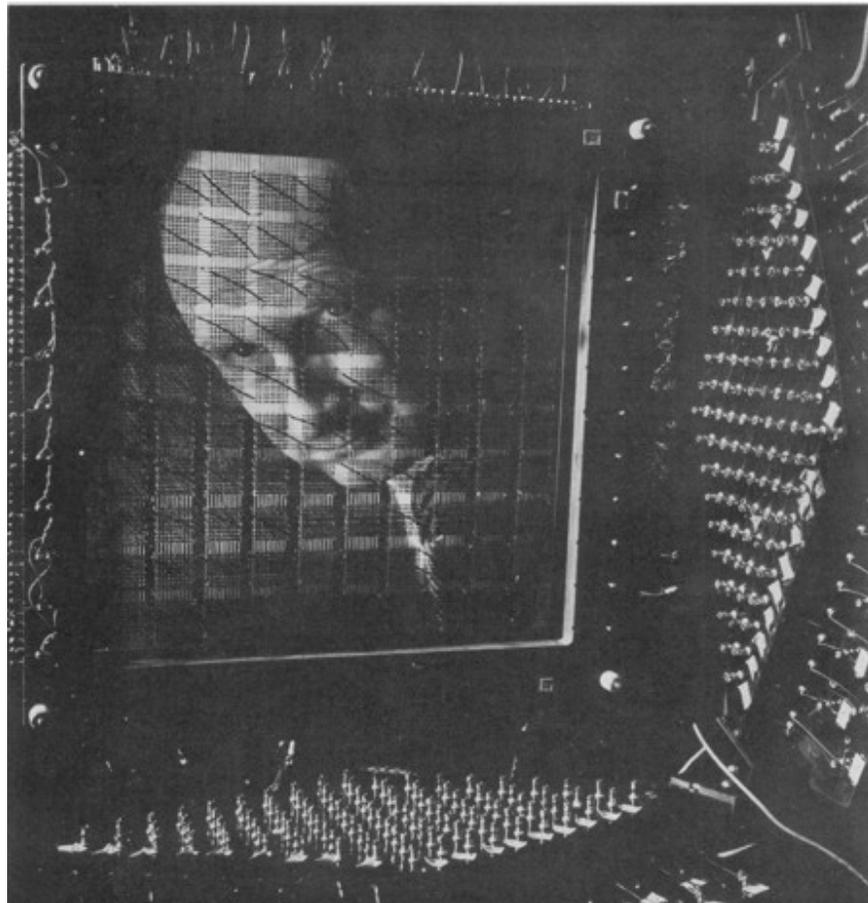


QUERUBINES PARA LAS AMAS DE CASA. Los querubines simbólicamente muestran el camino a la dicha de coser con la máquina de David Clark, de 1858. El diseño, con manivela a mano, producía punto de cadeneta. Los inútiles ornamentos hacían que las máquinas fueran difíciles de manejar.

Capítulo 8

La promesa y los problemas de la automatización

Hace tiempo que hemos pasado el punto en que no se puede volver atrás en nuestra relación con las máquinas. Son esenciales a nuestra forma de vivir. Y ahora hemos empezado a dotarlas de cualidades que nos son propias.



LAS MAQUINAS EN LA IMAGEN HUMANA. En sorprendente yuxtaposición, el doctor Jan Raichmon mira a través de la unidad de memoria de 929 cm² de su computador Myriabit. Cuando se construyó en 1953 era el núcleo mayor de memoria, almacenando 10.000 trozos de información. Hoy la miniaturización permite a una unidad de 12 cm² recordar 16.000 datos.

Construimos en sus vibrantes hilos y circuitos impresos y luces intermitentes la facultad de pensar, sentir, aprender. Se han convertido en una verdadera

comunidad, devoradoras de papel, viajeras aerodinámicas, sensores que revelan nuevos mundos en el estrellado océano del espacio y nuevos planetas en el invisible universo del átomo. Todos estos robots laboriosos son nuestras criaturas; sin ellas no estaríamos exactamente donde estamos hoy. Sin embargo, lo mismo que nos sirven, obedecen leyes internas de selección y mutación, nacidas de alguna especie de sentido de organización de corrección propia. Y así, la relación entre nosotros, aunque se hace cada vez más interdependiente, también produce tensiones más profundas. Nos confronta, inmediatamente, con los problemas, y la promesa, de la automatización.

Los especialistas no encuentran más fácil llegar a un acuerdo sobre la definición de automatización que sobre una definición de las máquinas. La palabra misma, corrupción de «automatización» o «*automa*-(tic) (opera)-ción», fue acuñada alrededor de 1935 por Delmar S. Harder, entonces gerente de una fábrica de la General Motors. En un sentido amplio, la automatización encierra en su radio prácticamente cualquier dispositivo que reduce el esfuerzo humano, físico, mental o ambos, necesario para hacer trabajo. En un sentido más específico, significa el control mecánico o electrónico que sustituye la función de control del cerebro humano.

Una mayor precisión en la definición es difícil porque hay grados de automatización variables. La lavadora automática representa un grado bajo. La cargamos, ajustamos los mandos, la ponemos en marcha y la dejamos; prosigue obedientemente, por medio de un sistema que lleva incorporado, y cuando llega al final del ciclo completo de lavado se para. El grado más elevado de automatización se encuentra hoy en los computadores digitales que no solamente controlan otras máquinas y su funcionamiento, sino que también se comunican con ellas, reciben información de las mismas sobre su funcionamiento a medida que ocurre, y utilizan esta información para corregir o guiar el proceso de fabricación mientras sigue adelante. Las máquinas que están bajo el control del computador pueden ser una serie de laminadoras de acero en caliente, los turbo-generadores de una red regional de energía eléctrica, o un proyectil dirigido.

Los ingenieros, cada vez más, proyectan eliminar a la gente del funcionamiento de las máquinas. Los propósitos son prácticos: eliminación del error, fatiga y aburrimiento; introducción de sistemas de producción más económicos y

consistentes, más rápidos y seguros; colmar el ansia incesante de la especie humana por la abundancia. Mientras los proyectistas trabajan, incluso las máquinas mismas parece que buscan a tientas su propia suficiencia cada vez más, impulsadas por el mismo ciego anhelo con que una viña trepa hacia el sol. El sistema de teléfonos que empezó con manivelas de mano y con las chicas que decían «diga» y «oiga» es hoy una maravilla de control automático. En lugar del filosófico encargado del ascensor que bromeaba sobre sus subidas y bajadas, hay un tablero de pulsadores de plástico.

Nueva anatomía de las máquinas

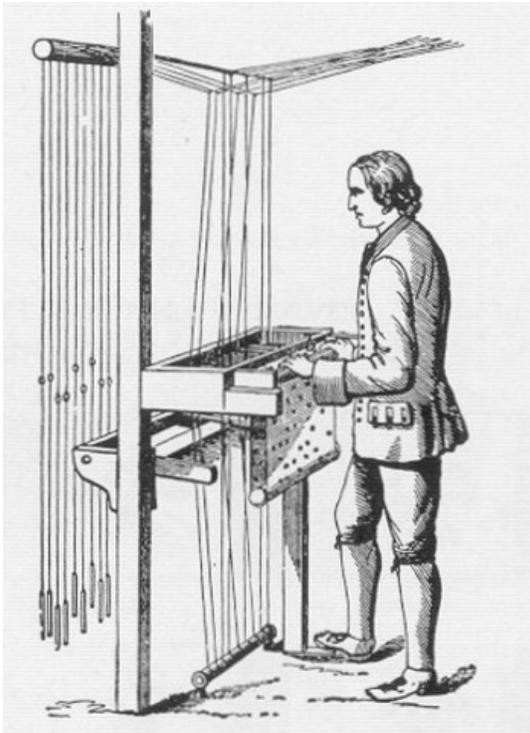
Todo esto podía haberse previsto en la línea de evolución de las máquinas, por cualquier profeta que supiera ganarse la vida. Para los motores pequeños, separamos las máquinas del eje y correas de transmisión y les damos una identidad por separado. A los garfios de acero, empalmes y cables eléctricos y pulsos electrónicos, les dimos músculos, ligaduras y nervios.

Las líneas de producción de Eli Whitney, enormemente complicadas hasta parecer un fantasmagórico *ballet mécanique*, continúan chorreando ríos de piezas intercambiables, montándolas, embalándolas y distribuyéndolas por sus interminables correas de transporte al mundo que espera. Sin embargo, ahora, los ojos que miden las tolerancias microscópicas son ojos fotoeléctricos. Las manos que sostienen las piezas para trabajar, son manos de metal. El coordinador de todo el ritual intrincado de producción es un carrito de cinta o una pila de tarjetas perforadas. Añádase al sistema un computador, y el sistema con ello adquiere la semejanza de un cerebro; un cerebro rudimentario, ciertamente, pero que es de una rapidez incalculable y de una lógica implacable.

Para la maquinaria y controles de automatización como estos, sólo los fabricantes americanos gastaron 8,4 miles de millones de dólares en 1963. En el año 1975 habrá en los EEUU más programadores de computadores que escriban instrucciones para los computadores, que doctores extendiendo recetas para enfermos. La «tendencia a la automatización» es menos una tendencia que una marea equinoccial. Nuestro viejo mundo y sus cosas familiares se quedan atrás, al igual que la última recalada de Colón.

La nueva capacidad de las máquinas de comunicar y controlar, acelerada increíblemente por las armas y la electrónica de la segunda Guerra Mundial, inspiró al eminente Dr. Norbert Wiener, profesor de Matemáticas del MIT, a formular una nueva disciplina dedicada a la comunicación entre hombre y máquina, máquina y hombre, máquina y máquina. Le llamó «cibernética», derivada del griego *Kybernetes*, o «*timonel*». Tiene que ver con mensajes, patrones de producción organizados, intercambiables, principalmente, entre los hombres y las máquinas. La mayor parte de los mensajes a la máquina son lo que podríamos esperar que fueran tales comunicaciones. Algunas, sin embargo, cuando menos para los programadores que las componen, parecen producirse con una belleza lírica, que se parece a la cadencia geométrica de los sonetos.

El dar mensajes a las máquinas por medio de claves de control se remonta a la industria textil francesa de principios del siglo XVIII. Con objeto de tejer un difícil diseño de moda en un tejido de seda, era necesario seleccionar y levantar unas determinadas series de urdimbres, al mismo tiempo, para el paso de la lanzadera. El primer hombre que mecanizó este trabajo penoso, que hacía perder mucho tiempo, fue Basile Bouchon, con su telar histórico, construido en 1725. Trabajaba básicamente en la siguiente forma: se perforaban agujeros en un rollo de papel de acuerdo con el diseño que se deseaba tejer. Cuando este papel «en clave» se presionaba contra una hilera de agujas, las que coincidían con los agujeros permanecían en la misma posición; las otras se movían hacia adelante. Así se formaba el diseño del tejido.



UN MODELO PARA EL FUTURO. El diálogo entre el hombre y la máquina, que hoy se ha vuelto de un locuaz toma y daca, empezó tranquilamente en 1725 cuando Basile Bouchon, ingeniero francés, construyó el telar de arriba, que podía tejer diseños de seda siguiendo las instrucciones cifradas en una hoja giratoria de papel perforado. El telar de Bouchon podía desplazar a un obrero inexperto (el aprendiz de tejedor), y así anticipar un problema da a automatización moderna.

La máquina de Bouchon era la forma de telar más sencilla, de sólo una hilera de agujas. Fue, sin embargo, el principio. Los perfeccionamientos aparecieron pronto, e hicieron posible tener un telar con varias hileras de agujas que actuaban, no por un rollo de papel sino por medio de unas estrechas tarjetas taladradas o perforadas que iban unidas a otras como si fuera un largo cinturón. El concepto que se ocultaba tras de estos dispositivos proyectó su sombra durante los años transcurridos hasta el siglo XX: el diseño se almacenaba en las tarjetas perforadas, lo mismo que la información electrónica para el control numérico de una fresadora, digamos, en una fábrica de aviones Burbank, se almacena hoy en día, en un carrete de cinta perforada magnetofónica.

La sapientísima aguja

Construyendo todavía otros adelantos, el mecánico francés Joseph Marie Jacquard, perfeccionó el clásico telar automático que fundamentalmente ha permanecido inalterado hasta nuestros días. Mucho más complicado que el sistema de Bouchon, el mando de Jacquard controlaba no menos de 1.200 agujas al mismo tiempo. Una serie de tarjetas perforadas se prensaba contra la bancada de agujas, una por cada

pasada de la lanzadera. Las partes no agujereadas de la tarjeta empujaban a ciertas agujas separándolas de la trayectoria del mecanismo de enganche, pero los agujeros permitían que otras se quedaran en sus sitios; un marco elevador las levantaba y de esta forma levantaba también una serie correspondiente de hilos de urdimbre. Sólo 25 años después de aparecer el primer telar de Jacquard, 600 de éstos, movidos por máquinas de vapor instaladas en los patios, estaban haciendo tejidos en las casas y granjas de Coventry.

Lo que Bouchon y Jacquard hicieron con el papel y las tarjetas perforadas era, en esencia, producir un medio efectivo de comunicarse con el telar. El lenguaje se limitaba a dos «palabras»: agujero y sin agujero. El mismo sistema binario, o de dos bases, es universal en la comunicación de las máquinas de hoy. El lenguaje de una bombilla de luz, por ejemplo consiste en encendido y apagado. Estas dos pueden simbolizar lo que el hombre quiera: sí/no; en marcha/parado; 1/0. El vocabulario puede aumentarse por el uso de otras luces adicionales y varias combinaciones de encendido y apagado. De esta forma, 32 combinaciones en posición de encendido y apagado de cinco bombillas bastan para representar las 26 letras del alfabeto, con las seis restantes para los signos de puntuación.

En vez de luces, el lenguaje de las máquinas modernas consiste en señales electrónicas, o de igual importancia, la ausencia de las mismas. La información de cualquier clase, desde las obras de Shakespeare a la representación de una curva, o el número de pulsaciones de un corazón, puede traducirse en fraseología señal/no señal y alimentar a una máquina. La información alimentada se llama «*input*» (*insoconsumo*), el producto al otro extremo del proceso mecánico «*output*» (*producción*), y la velocidad a que viaja la información a lo largo del proceso «*throughput*». (La gente que está perfectamente orientada no dice que ha bebido y comido; dice que sufre una sobrecarga de «input».)

Posdata a un retrato de seda

La primera persona que pensó en alimentar la información de tarjetas perforadas a otra máquina que no fuera un telar, fue Charles Babbage, un matemático inglés que pasó 40 años tratando de construir un «motor analítico», un precursor mecánico del computador electrónico. Babbage, una figura pickwickiana en la historia de la

máquina, consiguió de alguna forma un retrato de Jacquard de medio metro cuadrado y tejido en seda, realizado en un telar de Jacquard mediante el uso de 24.000 tarjetas perforadas, y tejido tan finamente que parecía un dibujo lineal. Esta perfección convenció a Babbage que el sistema de tarjetas perforadas podía aplicarse a su máquina: para hacerle posible, según las palabras de su amiga Ada Augusta, condesa de Lovelace, tejer «patrones algebraicos lo mismo que el telar de Jacquard teje flores y hojas». Pero la máquina de Babbage naufragó a causa de las limitaciones de la industria metalúrgica. Murió en 1781, rodeado de sus planos, ruedas dentadas y fragmentos de su imposible sueño, a medio terminar. Correspondió al doctor Herman Hollerith, estadista de Buffalo, Nueva York, el convertir en realidad la comunicación moderna entre el hombre y la máquina.

CLAVES PARA RESOLVER UN ROMPECABEZAS CHINO



TRADUCCIÓN EN UN INSTANTE. Un teclado eléctrico enganchado en un computador puede traducir de una lengua a otra una vez que ambos se han puesto en cinta en la clave binaria. Para traducir un complicado carácter chino al inglés, el operador lo reduce a los componentes más simples. Aprieta una tecla que contiene una parte del carácter (área en sombra), después una segunda tecla que contiene otra parte. Todos los caracteres chinos con tales componentes se proyectan en una pantalla. Entre estos caracteres, de los que aparecen cuatro arriba, el operador toma nota de la posición numérica del que está traduciendo, y aprieta otra tecla numerada que corresponde a aquella posición y hace mover la cinta de clave por el archivo de inglés de un computador.

El censo de los Estados Unidos de 1880, abarcando una población de 50.262.000 habitantes, había tardado siete años en poderse tabular. Al aproximarse el recuento de 1890, los funcionarios del Departamento de Censos empezaron a alarmarse. La población había aumentado rápidamente; ¿cómo podrían compilar las nuevas cifras

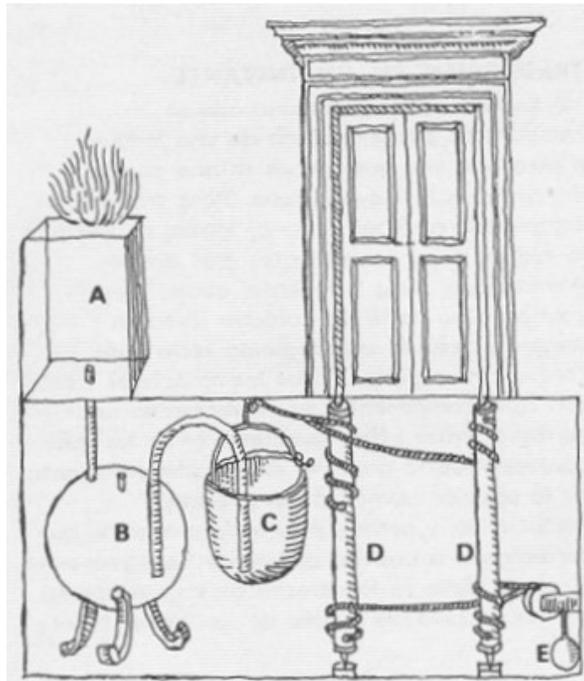
dentro del límite de 10 años impuesto por la Constitución? Hollerith evitó el desastre diseñando un tabulador muy ingenioso de tarjetas perforadas. La información del censo fue perforada a mano en las tarjetas, de acuerdo con una clave preestablecida de posiciones, o «puntos», representando cada uno los detalles, tales como la edad, sexo, etc., del individuo. En el proceso de tabulación, cada tarjeta se colocaba sobre cierto número de pequeñas copas llenas de mercurio. Unas hileras de alfileres finamente ajustados bajaban sobre la tarjeta. Dondequiera que encontraban un agujero perforado a mano, pasaban a través del mismo penetrando en el mercurio y cerrando circuitos eléctricos que registraban los detalles en esferas opuestas. Los alfileres detenidos por la superficie sólida no registraban nada. El tabulador de Hollerith permitió a los censos terminar sus recopilaciones en poco más de dos años, aunque la población de los EEUU se había elevado más de 25 %, llegando a 63.056.000.

La compañía que inició Hollerith para fabricar su ingenio llegó a ser, con el tiempo, uno de los progenitores de la inmensa International Business Machines Corporation, mejor conocida por la IBM. En los 70 años poco más o menos que han transcurrido desde el primer tabulador de Hollerith, los métodos de comunicación con las máquinas se han refinado extraordinariamente. Gente preparada especialmente, y a los que se llama «programadores» traducen las instrucciones a un lenguaje simbólico que a su vez es escrito electrónicamente en un vocabulario binario en el interior de la máquina. Los circuitos de la máquina desvían las pulsaciones eléctricas hasta su destino. El interruptor en el paso de las pulsaciones está abierto o cerrado, permitiéndoles el paso o desviándolas. El lenguaje de dos palabras, rígido e inflexible, no aguanta armónicos, ni fantasías ni margen alguno de error, sólo sí o no, encendido o apagado, abierto o cerrado, 1 ó 0.

La información se alimenta a las máquinas de hoy en una de las tres formas siguientes: por medio de tarjetas perforadas, por medio de cinta perforada de plástico o de papel, o por cinta magnetofónica. (Otro medio es la tinta magnética, utilizada principalmente por los bancos en la expedición de cheques.)

Un agujero lleno de sentido

Las tarjetas perforadas estándar, se perforan, ya sea automáticamente o por medio de una máquina con un teclado movido a mano parecido a una máquina de escribir, que puede hacer un agujero rectangular o redondo en una de las centenas de posiciones de la tarjeta. En la clave particular de un usuario una posición puede significar un número, una letra, una fecha, determinada situación en un plano. La cinta perforada se prepara en la misma forma. Sus posiciones van a lo largo de la cinta en un máximo de ocho canales paralelos, y la información se registra en ella por medio de agujeros taladrados en combinaciones significativas. Las máquinas reciben los mensajes de los agujeros por medio de unos «dispositivos lectores» empotrados, que perciben la presencia de los agujeros, los convierten en pulsaciones eléctricas y las proyectan al circuito. Según el tipo de dispositivo lector utilizado, la velocidad de la lectura de tarjetas se efectúa a razón de 100 a 1.000 tarjetas por minuto, la velocidad de lectura de la cinta de 150 a 500 perforaciones por segundo.

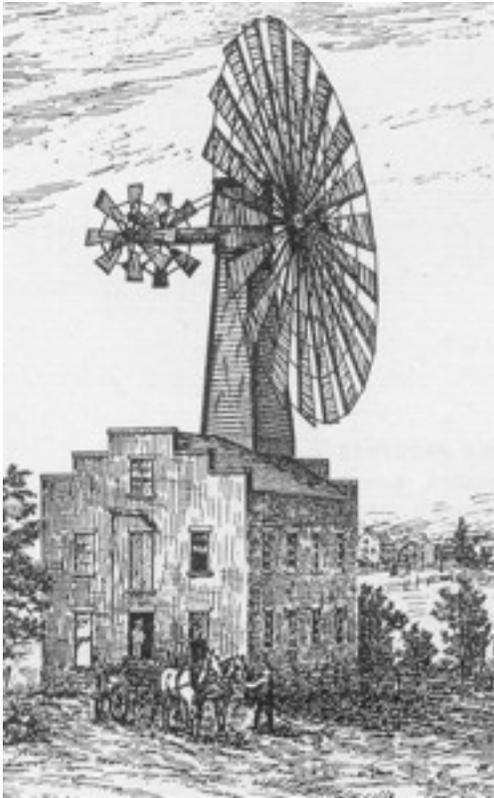


LA AUTOMACIÓN DE UN PORTERO. Hace casi dos mil años, el abre-puertas del templo de Herón, empleaba controles de máquina empotrados. Al encender fuego en un altar hueco (A) se eleva la presión de aire en el interior, haciendo pasar parte del agua almacenada en una esfera hueca (B), por medio de un sifón, a un cubo (C). Al descender el cubo, tiraba de las cuerdas unidas a los pivotes (D) que abrían las puertas. Cuando el fuego se apagaba, un contrapeso (E) cerraba las puertas.

La cinta magnética utilizada para la comunicación de máquinas es similar a la utilizada en los magnetófonos caseros, excepto que es generalmente de 12 milímetros de anchura en vez de 6 milímetros y contiene siete canales en vez de dos o cuatro. Cada canal está dividido en puntos o «trozos», a veces. 800 por cada 2,5 centímetros de cinta, que corresponden a las posiciones en las tarjetas o cinta de papel. La información queda registrada en la cinta al magnetizar estos trozos con una serie de cabezas de electroimanes. En el proceso de «input» los trozos magnetizados pasan por un ingenioso lector que los convierte en el lenguaje de pulsaciones eléctricas a velocidades de 630.000 trozos por segundo.

Automatismo y control

El hombre ha construido dos clases básicas de control en sus máquinas. Una, conocida por control «*open-loop*» (*circuito abierto*) hace que una máquina, una vez en marcha, siga funcionando como si fuera un reloj de acuerdo con un patrón preestablecido. La otra, llamada control «*closed-loop*» (*circuito cerrado*), o más familiarmente «*feedback*», hace posible que la máquina controle, corrija y compruebe su propio funcionamiento mientras está en marcha.



ALGO NUEVO EN EL VIENTO. Durante siglos los molinos estuvieron a merced de los vientos, que podían dejarlos sin funcionar al cambiar de dirección. En 1745, Edmund Lee, inglés, construyó un molino con un control automático que tenía forma de cola de abanico, una serie de veletas colocados en ángulo recto con las velas. La cola de abanico iba unida por medio de piones o unas ruedas que rodaban sobre una vía en la base del molino, haciendo que éste girase con el viento.

Ni uno ni otro control es nuevo en la era de la electrónica. Herón de Alejandría, hace 2.000 años, creó un control sencillo de «*open loop*», de causa y efecto, cuando diseñó un enlace de expansión del aire caliente, agua, cubo, ejes y contrapesos, que hacían abrir las puertas de un templo cuando un sacerdote encendía fuego en un altar cercano. En el siglo XVIII James Watt utilizó un control clásico «*feedback*» para mantener la velocidad deseada en su máquina de vapor. Unas bolas de metal montadas en un eje giratorio que estaba engranado al eje principal de salida de la máquina. Cuando empezaba a aumentar la velocidad, la fuerza centrífuga hacía que las bolas se movieran hacia arriba y hacia fuera, como los columpios giratorios de las ferias. Al hacer esto cerraba el paso de vapor parcialmente, reduciendo de esta forma la velocidad de la máquina.

Los controles «*open loop*» abundan en las máquinas de hoy, en el arranque y parada de una lavadora automática, el cambiadiscos automático, una máquina expendedora de café. Pero el alma y el corazón de la automatización total, del escalón más avanzado de la relación hombre-máquina, es el dominio del «*feedback*» de auto corrección y regulación.

Los diseños de «feedback» mantienen los niveles deseados de funcionamiento de las máquinas al generar lo que los ingenieros de control llaman la «señal de error», el efecto, produciendo una respuesta a la pregunta de la máquina. ¿«Qué tal sigo»? Un ejemplo puede verse en el sencillo control de termostático de caldera. El termostato se gradúa a 22°C. Si la temperatura desciende más de esto, el sensor termostático devuelve una señal de error; el termostato enciende la caldera; la temperatura se eleva al nivel deseado y el termostato apaga el fuego. La relación de caldera a temperatura del local a termostato y de nuevo a caldera, es directa, recíproca, cerrada, de aquí el término de control «closed loop».

Aunque los diseños de control «feedback» eran conocidos hace dos siglos, no empezaron a tener el éxito que merecían hasta la década de 1920. Este paso no fue ni aislado ni se produjo del día a la noche. No se hubiera podido dar sin tener el tubo de vacío para ampliar y transmitir las débiles señales de los sensores. No podía haberse dado sin los progresos en los mismos sensores sin «convertidores» para percibir las presiones, temperaturas, fuerzas, velocidades, volumen de luz y sonido; sin los detectores para registrar las temperaturas y cargas excesivas, humedad, fluir, todos los inteligentes diseños bi-electrónicos que permiten a la máquina oír y ver, tocar y percibir. Tampoco se hubiera dado el paso tanto tiempo antes que nadie lo esperase, sin el impulso tecnológico de la segunda Guerra Mundial, que desarrolló una brillante utilidad del «feedback» como detector automático, en toda clase de sistemas de disparar y seguir trayectorias y, sobre todo, en la espoleta de proximidad, cuyo «feedback» radar hace estallar el proyectil a determinada distancia del blanco.

El reino del «feedback»

Hoy el «feedback» funciona en todos los procesos manuales de automatización que son vitales para nuestra salud y comodidad, así como para la economía de la nación. Regula la electricidad que fluye por nuestras líneas de fuerza, mantiene la calidad de nuestro aceite y de nuestra gasolina, nuestro acero, cobre y hormigón. Ha tenido un impacto especial sobre la industria metalúrgica que tiene una producción de \$156 mil millones al año y que se arrastraba penosamente, al proporcionarle el

control automático de regulación propia, llamado «control numérico» por la industria, del funcionamiento de las máquinas-herramientas.

El control numérico, descrito por un grupo de estudios como «la palabra de toque de una revolución de fabricación», guía a una máquina a lo largo de su trabajo, sin intervención humana, simplemente por medio de instrucciones cifradas numéricamente alimentadas a la máquina. Un trabajo rutinario de taller, por ejemplo, requería el taladro de 100 agujeros separados con regularidad con una exactitud prescrita de 1/10 de milímetro. La preparación y la perforación tardaban 8 horas, hechas a mano. Utilizando el control numérico, toda la operación, desde su programación hasta el término de la perforación impecable de los agujeros, llevó exactamente 56 minutos.

El monarca de todos los dispositivos maravillosos de la máquina, no obstante, es el computador. Aun cuando las máquinas primeras desarrollaban los músculos del hombre y otras más recientes sus sentidos, los computadores amplían su mente. Calculan y computan, suman, restan, multiplican, dividen, y dan respuestas con velocidad y exactitud sin esfuerzo. Son las primeras máquinas que estamos convirtiendo en nuestros socios menores para el manejo y exploración del mundo en que vivimos.

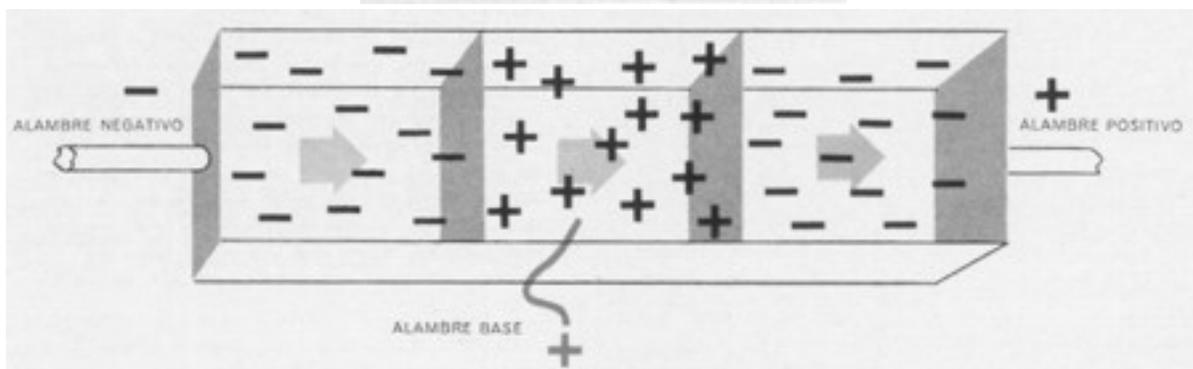
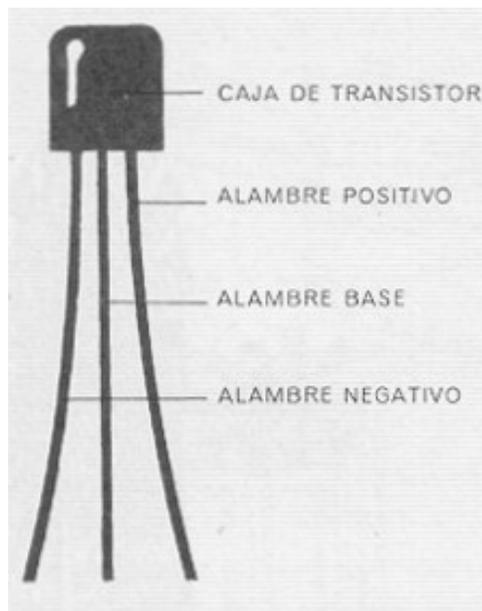
Aunque los computadores han venido a ser utilizados desde el fin de la segunda Guerra Mundial, ya han librado al comercio y a los negocios de una creciente tarea de papeleo. Debido a su capacidad para almacenar y buscar datos, ayudan a proliferar el control de posguerra de los descubrimientos científicos y tecnológicos a veces llamados «explotación de la información». Más de 200 de ellos controlan sin un solo fallo los procesos de fabricación de las fábricas de productos químicos, refinerías de petróleo, y fábricas de acero, papel y cemento. Jamás una máquina ha producido tanta emoción; se le ha llamado el logro más poderoso y prometedor de la historia de la máquina, desde la línea de montaje.

Un brontosauro electrónico

El primer computador todo-eléctrico del mundo entró en funcionamiento en 1946, en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pennsylvania. Era un enorme aparato como un brontosauro, llamado ENIAC, y había sido diseñado y

construido debido a los requerimientos del Ejército de los EEUU para computar las trayectorias para las armas modernas. Como la mayoría de los computadores, tenía un nombre formado por iniciales: *Electronic Numerical Integrator and Calculator*. ENIAC, inventado por dos investigadores de la Universidad de Pennsylvania, J. Presper Eckert, ingeniero electrónico, y el doctor John W. Mauchly, un matemático, ocupaba una superficie de 140 m², pesaba unas 30 toneladas, contenía 18.000 tubos de vacío, y tenía una capacidad que representaba unos cuantos miles de células nerviosas, biológicamente el equivalente de un cerebro de una tenia.

Un ENIAC con la capacidad de 10 mil millones de células del cerebro humano hubiera ocupado un edificio mayor que el Parlamento británico, y hubiera necesitado unas cataratas del Niágara para suministrarle la fuerza. De todas formas, ENIAC era lo suficiente ágil para hacer en 30 segundos el trabajo que llevaría a una máquina de calcular ordinaria veinte horas.



UNA PEQUEÑEZ MAGNIFICA. Pequeño duradero y despidiendo poco calor, el transistor (arriba) hace posible las diminutas maravillas como las radios de bolsillo porque como el más voluminoso tubo de vacío, tiene el poder de amplificar. Al pasar de la primera a la última de las tres secciones del transistor (abajo) una corriente que fluye con regularidad de un alambre negativo se convierte en una señal fluctuante, amplificada 40.000 veces y emitida a través de un alambre positivo. Una señal pequeña y débil inyectada por un alambre base efectúa este cambio.

En la actualidad la mole de ENIAC descansa en un almacén. Sus descendientes en los EEUU solamente, que suman unos 16.000, funcionan con su tic-tac y guiños en habitaciones tranquilas con aire acondicionado. Se parecen muy poco al ENIAC. Los pulcros muebles de sencillas líneas y de tonos de pastel, las consolas y los impresores de los equipos pequeños, encajarían perfectamente dentro de la cocina de una casa de pisos. Los paneles de circuitos impresos han sustituido al antiguo

conglomerado de cables; el venerable tubo de vacío ha cedido su lugar al transistor, que se ha calculado consume menos energía que una pulga.

Hay dos clases de computador, *analog*, del griego *analogos*, o «*proporcionado*»; y digital, del latín *digitus*, o «*dedo*», así llamado por la costumbre de contar con los dedos. Los computadores *analog* no tratan en números sino en cantidades físicas análogas. La información que presentan está expresada en términos físicos más bien que numéricos, voltaje eléctrico, ángulo de rotación de un eje, etc. y las respuestas que producen están asimismo expresadas en términos físicos. Las máquinas digitales, que sobrepasan en número a las *analog*, calculan y computan literalmente. Su producción básica es en números. Viven de pulsaciones eléctricas, millones de ellas a cada segundo; éstas están cifradas por el sistema binario, números 1 ó 0, y alimentadas a la máquina por medio de tarjetas perforadas, cinta perforada, o cinta magnetofónica.

Estos computadores tienen cinco elementos:

- dispositivos de input,
- unidad de control,
- unidad de almacenamiento,
- unidad de proceso y
- dispositivos de «output».

Su manejo puede compararse a la forma en que manejamos un simple problema de aritmética. «Input» es la información que se suministra del problema. Control es lo que representa las reglas aritméticas que nos guían para resolver el problema. Almacenamiento es el conocimiento que tenemos tanto de números como de las respuestas en los pasos intermedios. Proceso es análogo a nuestro tratamiento del problema con papel y lápiz. Output es la respuesta final.

El tranco de un socio juvenil

La comparación es necesariamente primitiva. Un computador de gran escala puede contener más de un millón de trozos de información en su memoria y puede producir su trabajo a mayor velocidad que 500.000 hombres que utilicen, no papel y

lápiz, sino calculadoras de mesa. Por esta razón, su radio como colaborador del hombre, es ilimitado. Aconseja a los productores de manzanas de Nueva Inglaterra respecto a los períodos de cosecha más óptimos con el mismo esfuerzo mínimo que permite a los fabricantes de automóviles cumplir los pedidos de los compradores. Recopila fórmulas de mezclas para fabricantes de piensos de ganado vacuno y de aves en México y Nueva Zelanda, con la misma eficiencia con que ayuda a los médicos de Cincinnati a proyectar las dosis de radiación para los enfermos de cáncer. Ayuda a hacer la predicción del tiempo, traduce trabajos científicos rusos y localiza buques que están navegando.

¿Qué nos reserva el futuro? Ni siquiera los computadores nos pueden contestar esta pregunta. No obstante, el diseño de computadores está siguiendo dos caminos. Uno conduce hacia las máquinas más rápidas y más especializadas; el otro conduce a máquinas que se parecen más y más a la gente. A los computadores se les enseña a aprender. Un físico de la IBM, por ejemplo, ha enseñado a un IBM 704 a jugar a las damas. ¡Lo programó para evitar hacer el mismo error por segunda vez, para mejorar, para jugar! Finalmente, fue vencido.

Otros están tratando de diseñar «computadores biológicos» que podrán aceptar e integrar varias clases de «input» al mismo tiempo, para exhibir la adaptabilidad de un animal vivo. Hasta el presente, la mayor parte de los estudios han sido dedicados principalmente a diseños de «reconocimiento de modelo» basados en la sensibilidad lumínica de las células fotoeléctricas. Un diseño experimental IBM titulado Shoebox reconoce hasta 16 palabras habladas, comprendidos 10 dígitos y las palabras de clave aritmética tales como «más», «menos» y «total». Cuando se le pide, Shoebox transmite problemas sencillos a una sumadora y le da instrucciones.

Estos diseños, hoy, son experimentales. Unos nos conducirán a nuevas máquinas; Otros se perderán en la nada. Cualquiera que sea su futuro, no alteran la naturaleza de nuestra larga relación con las máquinas llena de peripecias. Durante miles de años las máquinas nos han estado ayudando a moldear y dar forma al mundo en que hemos nacido. Ahora, por vez primera, se están haciendo cargo de tareas que hasta ahora hemos conseguido con nuestro propio cerebro. Y, de pronto, nos enfrentan con montañas que hay que escalar, el desafío de aprender cómo utilizar

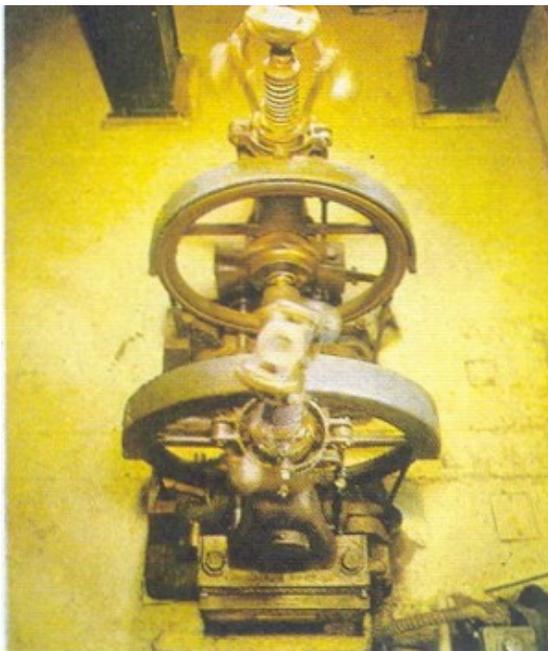
las máquinas totalmente y sacar el mejor partido de ellas, el más importante desafío de descubrir la forma de utilizar el apreciable potencial humano que desplazan. Pero en la lucha de la escalada llegaremos a tener una mejor comprensión de nosotros mismos, una comunión más profunda del uno con el otro y de las necesidades de uno y otro.

La nueva revolución industrial

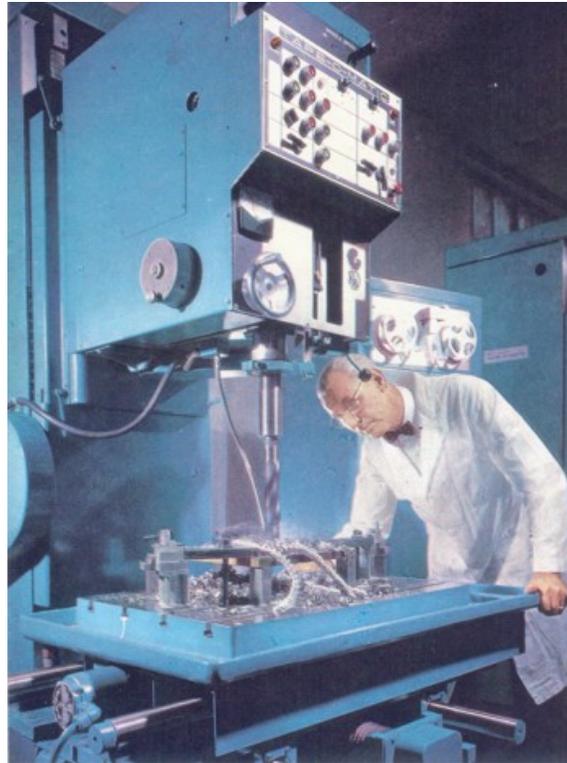
La palabra «automación» está cargada de emoción. Para alguna gente trae un sueño de una comodidad nueva, nueva experiencia y nueva libertad. A otros trae una pesadilla de dislocación y de modelos de trabajo destrozados. Pues la automación no significa otra cosa que una nueva Revolución Industrial en marcha, nacida de las máquinas que piensan y de nuevas actitudes humanas respecto a la fabricación de artículos y el manejo de los negocios. Las páginas siguientes proporcionan un atisbo en los rincones y huecos de la industria americana, que revela la distancia que hemos recorrido hacia una sociedad automatizada. La nueva revolución de la industria se ha extendido considerablemente desde aquel día en 1946 cuando Delmar S. Harder, entonces uno de los vicepresidentes de la Ford Motor Company, hizo notar: «Dadnos un poco más de ese negocio automático... Un poco más de esa "automación"».



LA AUTOMACIÓN DE UN TAZÓN DE SOPA. El obrero de la gorra blanca es uno de los "chefs" que controlan la mezcla de las sopas "Knorr" en una planta con automatización de cinco pisos en Argos, Illinois. Una consola tipo cerebral, da instrucciones a otras máquinas para que pesen y mezclen 40 ingredientes con tal precisión, que las legumbres secas no se rompen y las grasas no se congelan.



FEEDBACK DE BOLAS GIRATORIAS. El regulador del ascensor de un rascacielos es la misma máquina que un regulador de bolas giratorias utilizado por James Watt en 1788 para mantener la velocidad de una máquina de vapor. Si la máquina marcha demasiado de prisa, la oscilación de las bolas cierra el paso del vapor. A esto se llama «feedback», máquina ajustada a su propio trabajo.



MÁQUINAS QUE TOCAN LOS NÚMEROS. Lo mismo que las pianolas funcionan por medio de unos rollos cifrados de piano, un taladro de metal moderno como el Tape-O-Matic, recoge las indicaciones para su trabajo de un plano numérico cifrado sobre una cinta perforada. Entre las virtudes de esta máquina están la precisión y baratura: cambiando la cinta, taladra distintos agujeros.



COCHES A MEDIDA PRODUCIDOS EN SERIE

En el banco de carrocerías» de Willow Run, de la General Motors, cerca de Detroit, los nuevos modelos sujetos a monorraíles, descienden por la línea de montaje. Un equipo con los datos del proceso se utiliza para programar una línea de producción tan flexible que la fábrica puede producir más de 240.000 coches al año sin llegar a hacer dos idénticos.

Los muy numerosos significados de la automatización

“Automatización” es una palabra comprensible, casi un coloquialismo americano para el progreso tecnológico. Aun entre los ingenieros, la palabra no es nunca muy precisa, y comprende toda clase de dispositivos mecánicos y esquemas electrónicos. Sin embargo, aunque estos dispositivos difieren los unos de los otros en principios de funcionamiento, en aspecto y en propósito, todos ellos incluyen algún grado de propia regulación o control.

Un proyectil dirigido moderno es quizás el más terrible ejemplo de automatización, pues en él, los instrumentos automáticos reemplazan a la tripulación humana, y toda la máquina es muy sensitiva respecto a su dirección y velocidad.

Pero la automatización nos toca mucho más de cerca en el calor mismo de nuestros hogares, donde el termostato en las paredes presiente cambios en la temperatura del local y enciende o apaga la caldera. Los grabados ilustran la diversidad hasta de los mecanismos de automatización simple. El “regulador de bolas giratorias” que reduce la velocidad de un ascensor cuando empieza a caer verticalmente tiene poca relación con el dispositivo del Tape-O-Matic que taladra metal siguiendo las instrucciones de cintas en clave. Sin embargo, éstas tienen tanta “automatización” como las líneas de montaje de coches de Detroit.

Cuando las máquinas se convierten en vicepresidentes

El control electrónico es más apropiado para el proceso de productos líquidos que para la producción de géneros sólidos. Así, pues, es natural que las industrias que “fluyen” aceite, productos químicos y fuerza eléctrica, se automaticen.

Esta impecable refinería en Tyler, Texas, representa el primer paso hacia una fábrica en completa automatización. Allí, un panel maestro de control registra una cantidad de datos de todas partes de la fábrica, y muestra a los tres técnicos los ajustes que hay que hacer, y dónde. En fábricas todavía más adelantadas, los computadores sustituyen a los técnicos y ordenan a las máquinas con automatización, para que hagan los ajustes. En efecto, sólo los matemáticos que programan los computadores y los mecánicos que reparan los instrumentos, necesitan cuidar del mastodonte. Fábricas como esta ya existen. Y los hombres de negocios prevén un

tiempo en que corporaciones enteras tendrán automatización. Entonces, haciendo predicciones de mercados y vigilando a la competencia, los computadores tomarán decisiones al nivel de un vicepresidente.



REFINANDO PETRÓLEO CON PULSADORES. Tres operadores gobiernan los controles automáticos (primer término) que dirigen toda la producción en una refinería de petróleo en Tyler, Texas, que ocupa cerca de 150 hectáreas. La Texas Eastern Transmission Corporation, convierte el petróleo (unos 17.000 barriles al día) en aceite lubricante, gasolina de aviación y otros productos petrolíferos.

El cerebro del teléfono

Toque un teléfono y el computador mayor del mundo está en las yemas de sus dedos, un complejo multimillonario, de tamaño de un continente, de transmisores, marcadores, empalmes, cables coaxiales, interruptores y una interminable lista de componentes mecánicos y electrónicos.

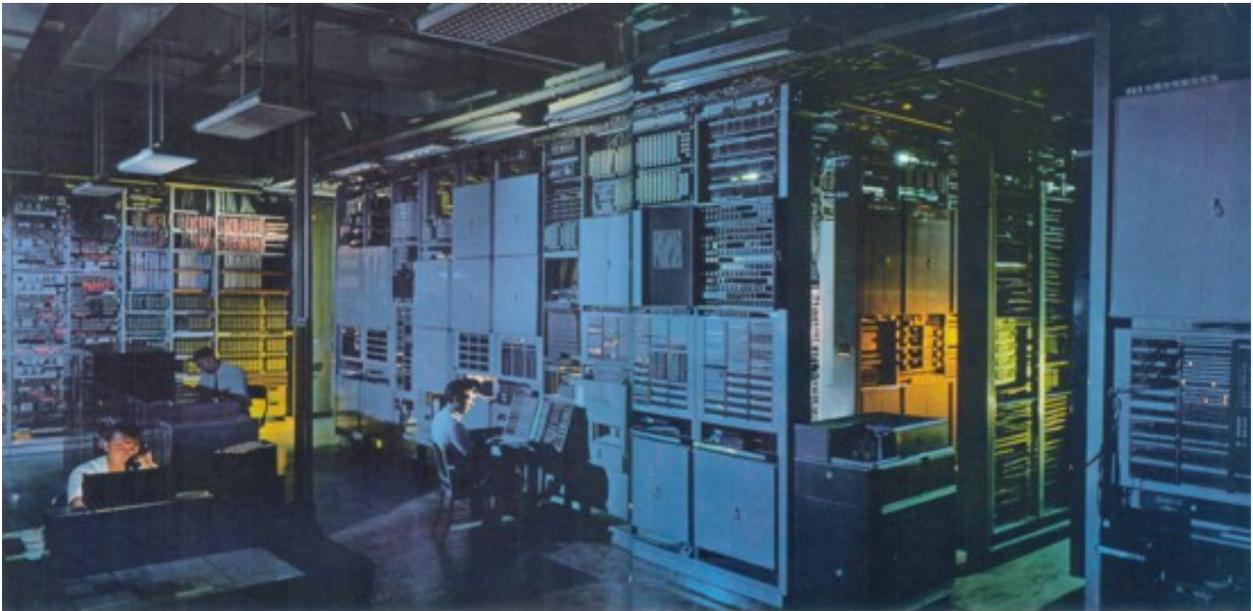
En la red de marca directa de costa a costa de la Bel Telephone System, la automatización ha alcanzado proporciones inconmensurables. En el momento que marca un aparato, el extenso sistema trabaja para localizar, entre 82 millones, el número deseado.

Cuando alguien en Nueva York hace una llamada a San Francisco, cientos de relees celebran una conferencia en Manhattan, saltan los interruptores de cruce en

Sacramento, laten los tubos de señales en Oakland, un transmisor se sacude en San Francisco, un marcador se apodera de un circuito que no está ocupado, y un teléfono suena. Pueden llegar a tomar parte en la llamada 100.000 piezas móviles.

Además, las decisiones de este intelecto mecánico, son propias: no hay ser humano que sepa qué ruta ha tomado una conferencia para llegar a su destino.

Preparándose para el futuro los ingenieros de la Bell están ahora reemplazando las partes móviles por los dispositivos electrónicos más modernos. Este sistema pulido, diagnosticará sus propios defectos automáticamente, dirá a los mecánicos dónde hay que hacer reparaciones y se auto programará para evitar las averías.



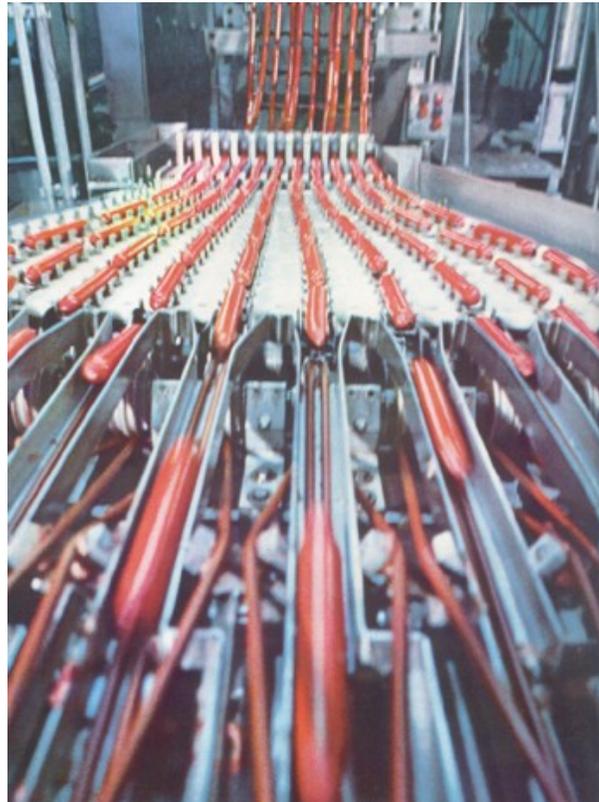
LLAMADAS POR COMPUTADOR. El piso 17 del centro de conferencias a largo distancia de la Bell Telephone System, en la ciudad de Nueva York, contiene cientos de toneladas de inteligencia encerrada, bajo la vigilancia de tres hombres. Este centro de LD es uno de los 69 esparcidos en ciudades y pueblos de EEUU. Sin esta automatización, se necesitarían todos los obreros del país para manejar las conferencias telefónicas, locales y de largo distancia, que se hacen en un solo año.

Todavía sin máquina para extender la mostaza

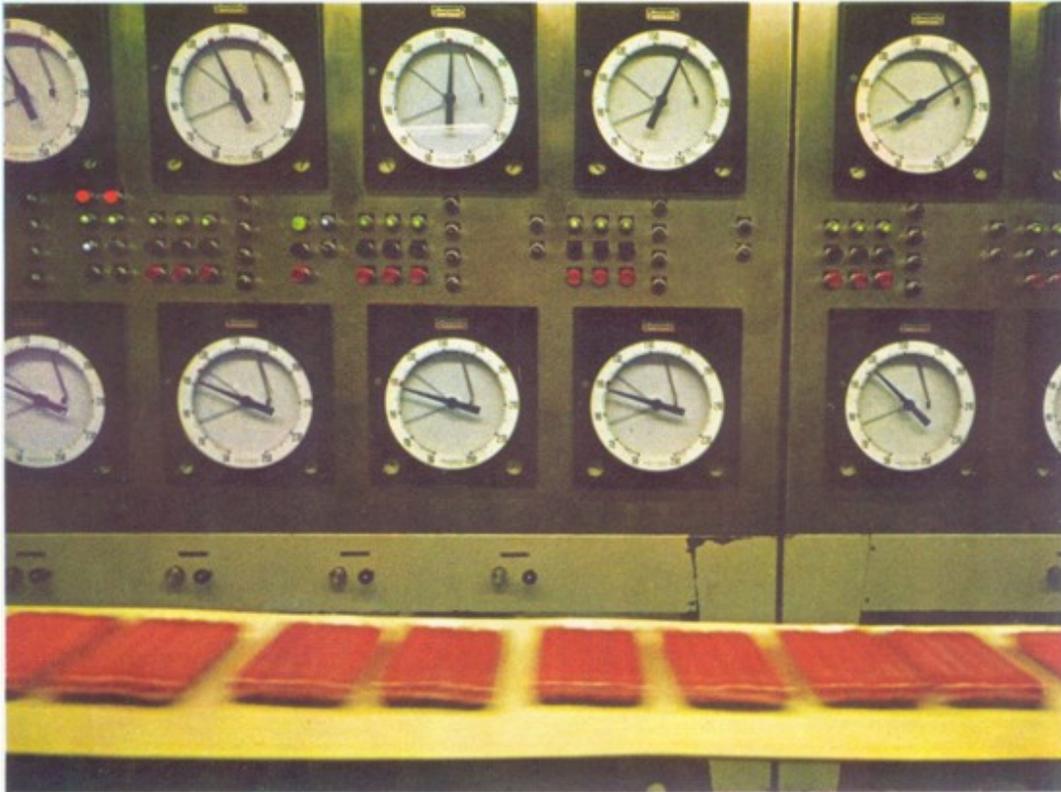
Hasta los humildes “perros calientes” han sufrido la automatización. En Oscar Mayer y Compañía, los mayores productores del país de salchichas vienasas y de Bolonia, el viejo arte del *wurstmacher* se ha transformado en una ciencia moderna. Los ingenieros de la compañía han conectado muchas de las máquinas que existen en

forma única, han creado otras máquinas empezando en cero, les han añadido controles automáticos y diseñado un sistema nuevo de hacer flotar la salchicha desde el pica-carnes hasta el supermercado.

Donde antes había que hacer el relleno trabajosamente a mano, el ahumado, enfriado y empacado, un equipo automático y electrónico se encarga ahora de la tarea. Una máquina, por ejemplo, aprieta las fundas para que las salchichas salgan del tamaño reglamentario. Después otra corta y quita esta piel artificial. Otras envuelven y cierran al vacío las salchichas en paquetes de plástico. Toda esta automatización se está extendiendo por todas las industrias alimenticias, y ahora se piensa en ella para la distribución y el detalle. Dentro de 10 años, los alimentos empaquetados se distribuirán usando máquinas.



«PERROS CALIENTES» EN DIRECTA. Por diez conductos al mismo tiempo pasan los salchichas rápidamente en una línea de producción con automatización en la fábrica de Oscar Mayer, en Madison, Wisconsin. La máquina que se ve aquí produce 25.000 salchichas tipo Frankfurt por hora. Las vienasas de Mayer se hacen por un proceso continuo, desde la carne cruda hasta los paquetes de plástico.



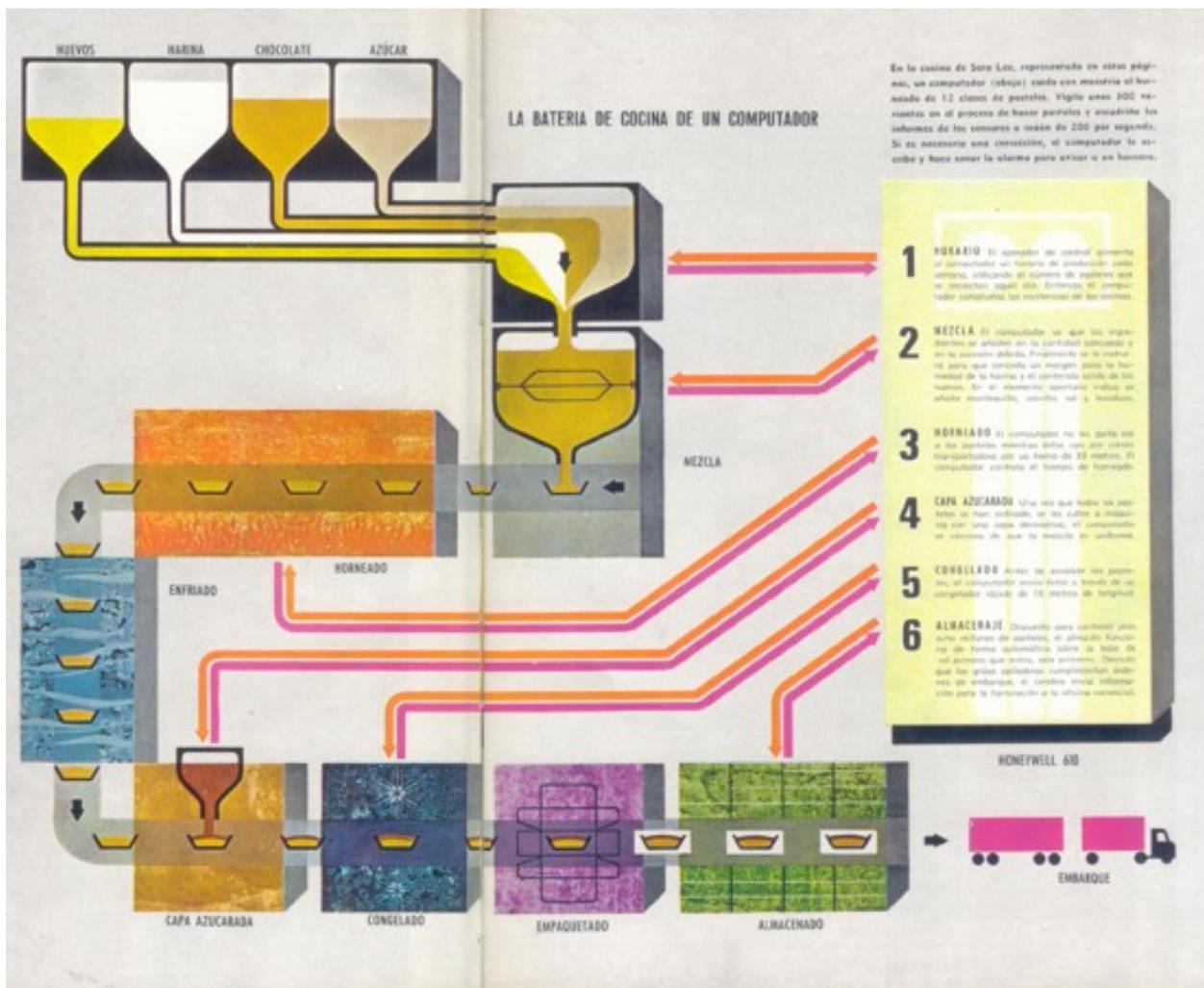
VIENESAS DE PRECISIÓN. Los esferas en una consola de control indican al técnico exactamente lo que pasa a las vienasas que pasan al vuelo, sin la ayuda de chefs humanos. Si ocurriese un pequeño error, surge un destello de luz en el panel de control. Además de ser más rápido, el preparado con automatización de las salchichas vienasas, los hace de color y tamaño uniformes.

Quién está en la cocina con Honeywell 610

Los pasteles de las Cocinas de Sara Lee, se cuentan entre los más famosos que salen de los dispositivos de proceso por datos. Y es un computador el que los pone al horno en cantidades que ni siquiera Sara Lee podía soñar hace 10 años. En las nuevas y hermosas cocinas con automatización en Deerfield, Illinois, un computador Honeywell gigante 610, capaz de 62.500 computaciones por segundo, hace el trabajo cerebral de la operación de hornear más grande del mundo. Cada día convierte unas 36.000 libras de leche, 66.000 libras de huevos enteros, 90.000 libras de mantequilla de primera y parecidas magnitudes de otros ingredientes, en innumerables pasteles de 12 variedades.

Las máquinas se encargan de los ingredientes tan pronto llegan a la fábrica, bombeándolos o colocándolos en forma compacta en los almacenes: 36 millones de libras de harina y azúcar, por ejemplo, se tienen a mano. Cada mañana se entrega al computador un horario de producción, del que toma nota, distribuye las recetas, se arremanga y se pone a trabajar. Se añade una capa azucarada y los pasteles son congelados, se cubren las bandejas y los paquetes salen para el almacén.

Sara Lee, sin embargo, no ha abolido el elemento humano en la fabricación. Todo lo contrario, dice el presidente de la compañía: "La automatización se emplea solamente como un medio de ayudar a los horneros a producir una cosa mejor". Además, toda la mantequilla para los pasteles de Sara Lee, se añade aún a mano.

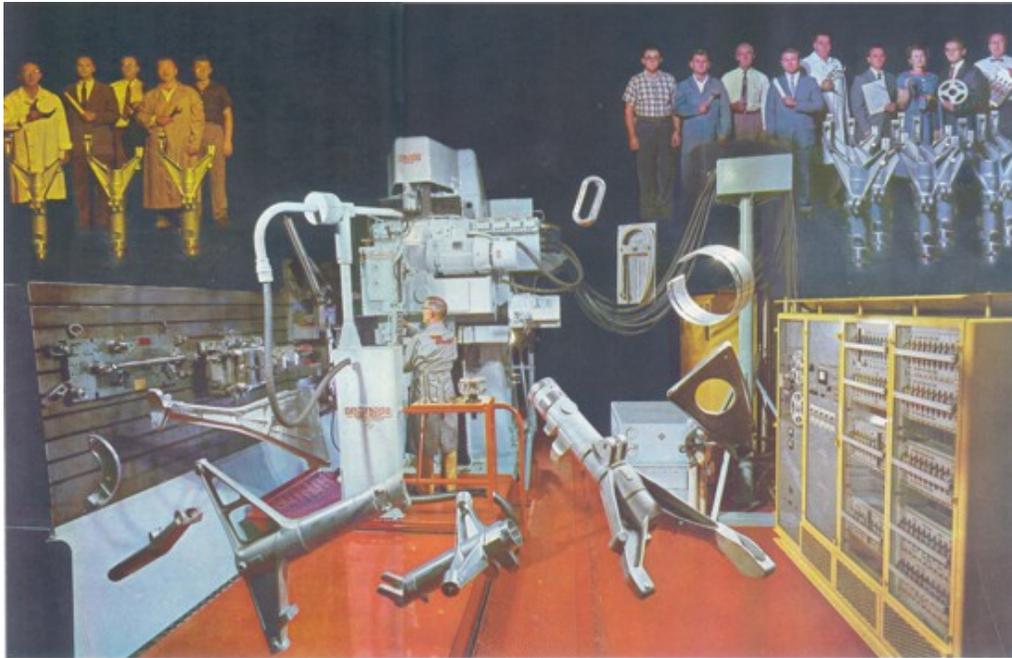


Aumento de producción y manos quietas

La fresadora de 50 toneladas de la Bendix Corporation de South Bond, Indiana, está sólo limitada por la imaginación de los ingenieros. Obedece instrucciones por cinta, convierte forja de aluminio en patas de tren de aterrizaje para el Phantom II, el caza-bombardero de las Fuerzas Aéreas, el más rápido y el que vuela a mayor altura. "Cada semana, sin embargo", dice uno de la Bendix, "nuestros ingenieros averiguan algo que pueden hacer con ella". Este gigantesco obrero de metalurgia y su computador, han elevado considerablemente la producción en la Bendix.

El dotar a las máquinas con inteligencia electrónica ha ocasionado un espectacular aumento en la productividad a través de toda la industria americana. Manejando un teclado o un panel de pulsadores, perforando números o introduciendo tarjetas IBM por una ranura, los obreros pueden hacer ahora más trabajo. Para manejar las nuevas máquinas, muchos trabajadores de cuello azul han pasado ahora a ser de "cuello blanco". Pero otros muchos han sido despedidos por la automatización. Una sola fábrica de cristal con 14 obreros, por ejemplo, puede producir ahora el 90 % de las bombillas de los EEUU.

Así pues, lo mismo que las palabras "cibernética", "servomecanismo" y "automatización" ofrecen un brillante futuro industrial, las frases como "desempleo crónico" y "bolsas de desempleo" presentan un gran desafío humano. Porque las mentes ingenuas que han inventado una máquina que haga el trabajo de 60 hombres, deben ahora encontrar la forma de conservar y buscar trabajo a los desplazados.



EL PRECIO DE LA PRODUCTIVIDAD. El hacer cilindros para el tren de aterrizaje de aviones (en suspensión en primer término de la fotografía y otras piezas de precisión, la fresadora, en la Bendix Corporation, hace a cada obrero más productivo. Anteriormente, los cinco hombres de la parte superior izquierda, preparador de herramientas, dibujante del producto, dibujante de utillaje, montador y operador, hacían 4 trenes de aterrizaje al día. Ahora, 9 hombres trabajando con esta máquina, los cinco más 4 especialistas de computador, producen 12 trenes al día.

Poderosas máquinas que transformaron una industria arcaica

En ninguna parte se hacen tan evidentes los efectos de la automatización como en la industria de carbones grasos, que en la mitad de 1960 empezó a mostrar síntomas de crecimiento.

La inmensa fábrica de preparación en Moss No. 3 es un símbolo de la parte que tuvo la automatización en su resurgir. "No hubiera compensado abrir sin equipo mecanizado de minería y un sistema automático de limpiar y graduar el carbón", dice un directivo de la Clinchfield Coal Company.



CARBÓN A LA CARTA. Las luces del panel de control se reflejan en el cierre de cristal de la fábrica de preparación en Pittston Company, en la mina Moss No. 3 en Virginia. Es la mayor y de mayor automatización en los EEUU y trabaja una veta rica pero con mucho desperdicio. Un hombre (arriba) controla el 90 % del funcionamiento que limpia el carbón en bruto y separa las clases. Las minas de carbón se hubieron reducido mucho sin la automatización, dice el presidente de lo Consolidation Coal, George H. Lave, que inició los métodos modernos.

Tal operación simboliza asimismo la decadencia del excavador de carbón. En 1947 había en EEUU 450.000 mineros. En 1963 119.000 utilizaban nuevas técnicas para manejar máquinas masivas y ganaban el doble que en 1947. La mecanización total ha doblado con exceso la producción de EEUU en carbón graso desde la segunda Guerra Mundial.

Los economistas y los expertos laboristas difieren en la apreciación del número de empleos que se pierden por tales cambios de tecnología. Un cálculo del Departamento de Trabajo de los EEUU en 1962 era de 8.000 por día de trabajo.

Muchos negociantes están preocupados, pero consideran que no hay alternativa para la máquina. "Ya no es cuestión de si se usa automatización o no. Si usted no se decide, su competidor sí lo hará."

Apéndice

Crónica de la ingeniosidad humana

La historia de las máquinas es la de la búsqueda del hombre por los medios mejores, más rápidos y fáciles de realizar su trabajo. La tabla de abajo muestra algunos inventos de los últimos 50 siglos. De esta tabulación se desprenden dos hechos: mientras la invención es un proceso continuo, no es una marcha de progreso regular y ordenada, sino una serie de chorros dramáticos seguidos por entreactos relativamente yermos; que la elevación de América a la dirección del mundo ha sido apoyada por el impulso de la inventiva de los Estados Unidos.

No es coincidencia que «América» se produzca con regularidad creciente en la columna de nacionalidad, hasta que domina a partir de 1900. De 44 invenciones mayores en el siglo XX, 38 son americanas: las riquezas políticas, intelectuales y económicas que forjaron la nueva nación fueron las mismas que la condujeron hasta llegar a la excelencia tecnológica de nuestra era.

DESDE LAS PALANCAS Y TORNOS A LA TECNOLOGÍA MODERNA

FECHA	MAQUINA	INVENTOR	NACIONALIDAD
E. paleolítica	palanca, cuña, plano inclinado	desconocido	desconocida
c. 3000 a.C.	rueda y eje	desconocido	desconocida
c. 3000 a.C.	vela	desconocido	egipcia
siglo VIII a.C.	polea	desconocido	asiria
siglo III a.C.	elevador de agua, motón y aparejo	Arquímedes	griega
siglo III a.C.	bomba	Ctesibio	griega
siglo II a.C.	torno	desconocido	desconocida
siglo I a.C.	rueda hidráulica horizontal	desconocido	mesopotamia
siglo I a.C.	rueda hidráulica vertical	desconocido	romana
siglo VII c. siglo IX	molino de viento horizontal	desconocido	persa
1185	volante y manivela	desconocido	desconocida
c. siglo XII	molino de viento vertical	desconocido	inglesa
1298	trabuquete	desconocido	desconocida
c. 1300	rueca	desconocido	alemana
1335	cañón	desconocido	desconocida
c. 1448	reloj mecánico	desconocido	italiana
c, 1500	impresión de tipos cambiables	Johann Gutenberg	alemana
	rifle	desconocido	alemana o austriaca

c. 1520	arma de fuego con cerrojo	desconocido	alemana
c. 1589	máquina de hilar	William Lee	inglesa
princip. 1600	arma de fuego carga recámara	desconocido	italiana
c. 1615	arma de fuego de chispa	desconocido	desconocida
1642	máquina de sumar	Blaise Pascal	francesa
1654	bomba de aire	Otto von Guericke	alemana
1656	reloj de péndulo	Christian Huygens	holandesa
1698	bomba de vapor	Thomas Savery	inglesa
1712	máquina de vapor	Thomas Newcomen	inglesa
1733	lanzadera volante	John Kay	inglesa
1765	máquina de vapor condensado	James Watt	escocesa
1767	máquina hiladora "jenny"	James Hargreaves	inglesa
1769	tractor de vapor	N. Joseph Cugnot	francesa
1769	máquina de hilar hidráulica	Richard Arkwright	inglesa
1776	submarino	David Bushnell	americana
1779	mula de hilar	Samuel Crompton	inglesa
1783	globo de gas	J. E. y E. M. Montgolfier	francesa
1784	horno pudelación hierro	Henry Cort	inglesa
1786	telar mecánico	Edmund Cartwright	inglesa
1786	máquina de trillar	Andrew Meikle	escocesa
1786	máquina de hacer clavos	Ezequiel Reed	americana
1790	barco de vapor	John Fitch	americana
1790	cortadora de clavos	Jacob Perkins	americana
1793	desmotadora de algodón	Eli Whitney	americana
1795	prensa hidráulica	Joseph Bramah	inglesa
1797	arado de hierro forjado	Charles Newbold	americana
1798	máquina de hacer papel	Nicolas-Louis Robert	francesa
1800	máquina de tornear	Henry Maudslay	inglesa
1804	locomotora de vapor	Richard Trevithick	inglesa
1804	telar para tejer con dibujo	Joseph Marie Jacquard	francesa
1807	máquina de ensamblar madera	Marc I. Brunel	francesa
1807	barco a vapor de utilidad comercial	Robert Fulton	americana
1809	luz de arco eléctrico	Sir Humphry Davy	inglesa
1810	máquina cortadora	Peter Gaillard	americana
1811	máquina de imprimir a vapor	Friedrich Koenig	alemana
1816	máquina de tejer circular	Marc I. Brunel	francesa
1818	torno de perfil	Thomas Blanchard	americana
1819	arado de hierro forjado modelo moderno	Jethro Wood	americana
1820	cultivador	Henry Burden	americana
1820	troceador de goma	Thomas Hancock	inglesa
1822	motor eléctrico	Michael Faraday	inglesa
1822	máquina de calcular	Charles Babbage	inglesa

1824	máquina de hacer alfileres	L. W. Wright	americana
1825	locomotora de vapor de utilidad comercial	George Stephenson	inglesa
1826	fotografía	Joseph N. Niépce	francesa
1827	turbina hidráulica	Benoit Fourneyron	francesa
1831	dinamo	Michael Faraday	inglesa
1834	segadora	Cyrus H. McCormick	americana
1834	heladora	Jacob Perkins	americana
1835	revólver	Samuel Colt	americana
1835	pala a vapor	Williams S. Otis	americana
1837	telégrafo	Samuel F. B. Morse	americana
1837	arado de acero	John Deere	americana
1839	martillo a vapor	James Nasmyth	escocesa
1840	bicicleta	Kirkpatrick MacMillan	escocesa
1846	máquina de coser	Elias Howe	americana
1847	máquina de imprimir rotativa	Richard M. Hoe	americana
1849	turbina Francis	James B. Francis	americana
1849	torno de torreta	Frederick W. Howe	americana
1850	atadora de grano	Richard S. Lawrence, Henry D. Stone John E. Heath	americana
1851	máquina de lavar	James T. King	americana
1856	convertidor de acero	William Kelly, Sir Henry Bessemer	americana inglesa
1857	horno de acero Siemens	Frederick y William Siemens	inglesa
1857	máquina de coser calzado	Lyman R. Blake	americana
1857	ascensor	Elisha G. Otis	americana
1860	motor de combustión interna	Etienne Lenoir	francesa
1862	fresadora universal	Joseph R. Brown	americana
1865	cerradura Yale	Linus Yale Jr.	americana
1867	máquina de escribir	Christopher L. Sholes, Carlos Glidden, Samuel W. Soulé	americana
1869	freno de aire para ferrocarril	George Westinghouse Jr.	americana
1869	aspirador de polvo	Ives W. McGaffey	americana
1871	perforadora neumática	Simon Ingersoll	americana
1876	teléfono	Alexander Graham Bell	americana
1876	motor de cuatro tiempos (Otto)	Nikolaus August Otto, Eugen Langen	alemana
1877	fonógrafo	Thomas A. Edison	americana
1879	atornilladora automática	C. W. Parker	inglesa
1879	registradoras de caja	James Ritty	americana
1881	tranvía eléctrico	Werner von Siemens	alemana
1882	plancha eléctrica	Henry W. Seely	americana

1882	ventilador eléctrico	Schuyler S. Wheeler	americana
1884	linotipia	Ottmar Mergenthaler	alemana- americana
1884	turbina de vapor	Sir Charles A. Parsons	inglesa
1885	automóvil	Karl Benz	alemana
1885	dictáfono	Charles S. Tainter	americana
1887	monotipia	Talbert Lanston	americana
1888	cámara de cine	E. J. Marcy	francesa
1890	tabulador de tarjeta perforada	Dr. Herman Hollerith	americana
1891	proyector de cine	Thomas A. Edison	americana
1892	motor diesel	Rudolf Diesel	alemana
1894	telar automático	James H. Northrop	americana
1895	locomotora eléctrica	desconocido	americana
1896	radiotelegrafía	Guglielmo Marconi	italiana
1896	estufa eléctrica	William S. Hadaway Jr.	americana
1899	grabador magnético	Valdemar Poulsen	danesa
1900	submarino eléctrico	John P. Holland	americana
1900	máquina de fotocopias	Rene Graffin	francesa
1901	radiotelefonía	Reginald A. Fessenden	americana
1903	aeroplano	Orville y Wilbur Wright	americana
1903	máquina de hacer botellas	Michael Owens	americana
1905	tractor de colocar vías	Benjamin Holt	americana
1907	aspirador de polvo eléctrico	James M. Spangler	americana
1907	lavadora eléctrica	Alva J. Fisher	americana
1911	arranque eléctrico automóvil	Charles F. Kettering	americana
1911	cosechadora	Benjamin Holt	americana
1911	acondicionamiento de aire	Willis H. Carrier	americana
1913	refrigerador	A. H. Goss	americana
1913	cine hablado	Thomas A. Edison	americana
1915	máquinas de radioterapia	Friedrich Dessauer	alemana
1918	tostador automático	Charles Strite	americana
1923	televisión	Vladimir K. Zworykin	americana
1923	bulldozer	desconocido	americana
1924	locomotora diesel eléctrica	Hermann Lemp	americana
1925	fonógrafo eléctrico	J. P. Maxfield	americana
1926	cohetes de combustible líquido	Dr. Robert H. Goddard	americana
1928	computador mecánico	Dr. Vannevar Bush	americana
1928	televisión (pickup de imágenes)	Philo T. Farnsworth	americana
1928	máquina de afeitar eléctrica	Jacob Schick	americana
1928	recogedor mecánico de algodón	John Rust	americana
1930	motor de propulsión a chorro	Frank Whittle	inglesa
1932	excavadora de tierras	Robert G. Le Tourneau	americana
1933	FM radio	Edwin Howard Armstrong	americana
1935	eliminador de basuras	William Merrill	americana

1936	radar	Sir Robert A. Watson-Watt	inglesa
1938	xerografía	Chester Carlson	americana
1938	secador de ropa automático	J. Ross Moore	americana
1939	helicóptero	Igor Sikorsky	americana
1942	reactor atómico	Enrico Fermi	italo-americana
1943	riñón artificial	Dr. Willem Kolff	holandesa
1943	máquina herramienta de descarga eléctrica	B. R. y N. I. Lazarenko	rusa
1945	máquina de colocar tipos fotográfica	E. G. Klingberg, Fritz Stadelmann, H. R. Freund	americana
1946	computador electrónico ENIAC	J. Presper Eckert, John W. Mauchly	americana
1947	minador de carbón continuo	Harold F. Silver	americana
1952	máquina herramienta de control numérico	Frank Stuelen	americana
1953	corazón pulmón artificial	Dr. John H. Gibbon	americana
1954	batería solar	Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin, Calvin S. Fuller	americana
1954	maser	Dr. Charles Townes	americana
1957	convertidor termiónico (calor a electricidad)	Dr. Volney C. Wilson	americana
1963	automóvil comercial de turbina de gas	George Huebner Jr. y equipo	americana