



Máquina de vapor



Serie: Recursos didácticos

Tapa:
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Máquina de vapor

Aquiles Gay

Sebastián Dóvis

Colección Serie "Recursos didácticos".
Director del Programa: Juan Manuel Kirschenbaum.
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0535-2

Gay, Aquiles
Máquina a vapor / Aquiles Gay y Sebastián Dovis;
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.
- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2006.
104 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 26)

ISBN 950-00-0535-2

I. Energía-Vapor. I. Dovis, Sebastián
II. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. III. Título

CDD 621.312 132

Fecha de catalogación: 3/01/2006

Impreso en MDC MACHINE S. A., Marcelo T. de Alvear 4346 (B1702CFZ), Ciudadela,
en marzo 2006

Tirada de esta edición: 2.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y de motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA –características físicas de los materiales de construcción–
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componentes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible
- 21 Generador eólico
- 22 Auto solar
- 23 Simuladores interconectables basados en lógica digital
- 24 Banco de trabajo
- 25 Matricería. Matrices y moldes
- 26 Máquina de vapor
- 27 Sismógrafo
- 28 Tren de aterrizaje
- 29 Manipulador neumático
- 30 Planta de tratamiento de aguas residuales

LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
 - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
 - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
 - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317–.
 - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el periodo 2003-2007:

Programa 1. Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

Programa 2. Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

Programa 4. Educación para el trabajo y la integración social.

Programa 5. Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

Programa 7. Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

Programa 8. Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

María Rosa Almandoz

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativas ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web www.inet.edu.ar–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica.
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

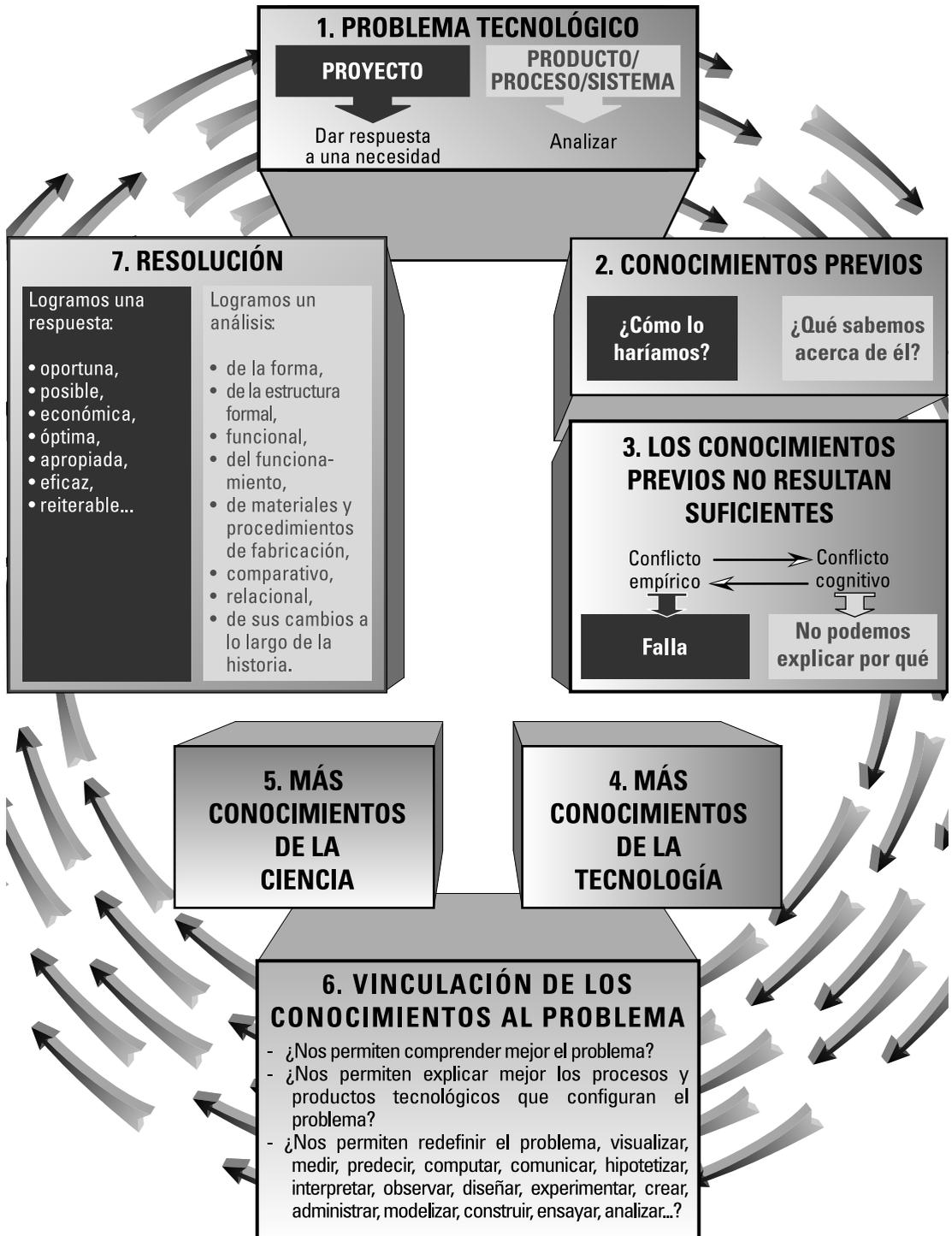
En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

- 1 Problemas tecnológicos en el aula.** En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.
- 2 Encuadre teórico para los problemas.** En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

- 3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.** Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.
- 4 El equipo en el aula.** En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.
- 5 La puesta en práctica.** Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

Haydeé Noceti

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".
Centro Nacional de Educación Tecnológica



26. Máquina de vapor

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Aquiles Gay

Ingeniero mecánico electricista (Universidad Nacional de Córdoba). Diplomado en Ciencias de la Educación (Universidad de Ginebra). Autor de diversos libros, entre otros: *La educación tecnológica. Aportes para su implementación* (CONICET 1997. Buenos Aires), *Temas para educación tecnológica* (La Obra. 2000. Buenos Aires), *La lectura de objeto* (TEC. 2003. Córdoba). Ex profesor titular de la Universidad Nacional de Córdoba, de la Universidad Tecnológica Nacional y de la Escuela de Ingeniería Aeronáutica de la Fuerza Aérea Argentina. Ex funcionario de la UNESCO en la Oficina Internacional de Educación en Ginebra, Suiza. Ex decano de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional. Ex ingeniero de la Compañía Telefónica Ericsson en Estocolmo, Suecia.

Sebastián Dovis

Diseñador industrial (Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba). Docente del Instituto Superior de Diseño "Aguas de la Cañada", en la carrera de Técnico Superior en Diseño Industrial. Presidente de la Asociación de Diseñadores Industriales de Córdoba (ADIC) para el período 2005-2007. Consultor en diseño de productos de industrias metalmeccánica y de mobiliario de madera, entre otras. Coordinador de las actividades del Centro de Cultura Tecnológica, y del Museo de la Técnica y la Tecnología de la Fundación Aquiles Gay: www.cultec.com.ar.

Dirección del Programa:
Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinación general:
Haydeé Noceti

Diseño didáctico:
Ana Rúa

Administración:
Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:
Laura Irurzun

Diseño gráfico:
Tomás Ahumada
Karina Lacava
Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:
Laura Lopresti
Juan Manuel Kirschenbaum

Retoques fotográficos:
Roberto Sobrado

Con la colaboración
del equipo de profesionales
del Centro Nacional
de Educación Tecnológica



Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.....	IV
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica.....	VI
La serie “Recursos didácticos”.....	VII

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	7
• La máquina de vapor y la energía mecánica. Enfoque histórico	
• La energía y sus transformaciones	
• Fuentes de energía	
• Transformaciones de energía	
• Rendimiento	
• Génesis de la máquina de vapor	
• Una máquina de vapor convencional	
• Mecanismos de transmisión y de transformación de movimientos	
• Rozamiento	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	50
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales y la construcción	
4 El equipo en el aula	59
5 La puesta en práctica	64

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

Lo invitamos a considerar estos testimonios:

En la clase de "Organización industrial", al analizar el reemplazo de la actividad manual del hombre por la máquina —hecho clave, germen de la Revolución Industrial, con su reemplazo de la hiladora mecánica por la rueca, del telar manual por el telar mecánico y, finalmente, del cosido a mano por la máquina de coser—, los alumnos están considerando las características de la máquina de vapor que reemplazó, no la actividad manual, sino el esfuerzo físico del hombre y de los animales.

La profesora, entonces, presenta ilustraciones de la máquina de vapor y una explicación de su funcionamiento, y advierte que, si bien muchos de sus alumnos han leído u oído hablar de esta máquina y hasta han visto películas con trenes movidos por locomotoras de vapor, en general, no la conocen.

Los alumnos del Centro de Formación Profesional en Mecánica Automotriz se encuentran analizando un motor de explosión como fuente de energía mecánica del automóvil. Durante su indagación incluyen otras posibles fuentes de energía mecánica, entre ellas el motor de vapor que, allá por fines del siglo XIX y comienzos del XX, era el que equipaba a los automóviles de la época.

El instructor comenta, entonces, que la palabra chofer tiene su origen en *chauffeur* (que, en francés, se pronuncia aproximadamente *Chofer*) la que, a su vez, deriva de la palabra, también francesa, *chauffer* (que se pronuncia *Chofé*) que quiere decir calentar. La razón de esta denominación es que los motores de vapor requieren del vapor que se produce por calentamiento del agua y la persona que, en su época, encendía el fuego del motor de vapor del automóvil para calentar el agua era, luego, el responsable de mantener el fuego y de conducir el auto; de allí el nombre francés de *chauffeur* que tanto quiere decir conductor como persona que mantiene encendida una caldera.

El motor de vapor despierta el interés de los alumnos y el instructor propone la construcción de una máquina de vapor para estudiar su funcionamiento.

En la clase de termodinámica, los estudiantes analizan las conversiones de energía en máquinas de combustión interna y en aquellas de combustión externa; entre estas últimas, estudian los componentes de la máquina de vapor.

Las ingeniosas invenciones de Herón de Alejandría son el centro de análisis de esta clase de "Historia de la tecnología".

En un momento de la tarea y frente a la eolípila, el profesor plantea:

- *Podríamos considerar a la eolípila un ancestro de la máquina de vapor; pero, ¿por qué les parece que, en esta época no se buscaban formas alternativas de energía mecánica?*

Para el Centro de Cultura Tecnológica de la escuela, los alumnos están construyendo, a escala reducida, el modelo de una usina generadora de energía eléctrica del siglo XIX.

Su idea es que el modelo funcione entregando la energía eléctrica que permita alimentar una serie de *led* que representan las fuentes de luz en el modelo de un circuito eléctrico de una casa de familia de la época.

Están utilizando el motor eléctrico de un grabador pequeño como generador de electricidad, haciéndolo girar con una máquina de vapor que, en ese entonces, era la fuente de energía mecánica disponible.

- *Aquí ven un tren a vapor que muestra el sistema biela-manivela en sus ruedas motrices.*

Esta imagen sirve de punto de partida para entrar en el análisis de la máquina de vapor (para muchos desconocida), y en el estudio de la conversión de los movimientos de rotación en un movimiento de traslación y viceversa (mecanismo biela-manivela y, en algunas, el excéntrico).

Algunos alumnos recuerdan entusiasmados haber visto máquinas de vapor de juguete y se preguntan si no pueden conseguir alguna para traerla al aula.

- *¿Cómo se genera energía eléctrica en los lugares donde no hay río?*

Ésta es una de las preguntas que surge durante la proyección del vídeo que permite a los alumnos analizar los procesos de una usina hidroeléctrica.

A partir de la explicación de su profesor, consideran que hay usinas termoeléctricas en las que el alternador que entrega energía eléctrica es accionado por una máquina térmica.

- *¿Sabían ustedes que las primeras usinas termoeléctricas tenían máquinas de vapor?*

El recurso didáctico que proponemos

Las situaciones que hemos expuesto, plantean la importancia de contar con una pequeña máquina de vapor para responder a las inquietudes planteadas.

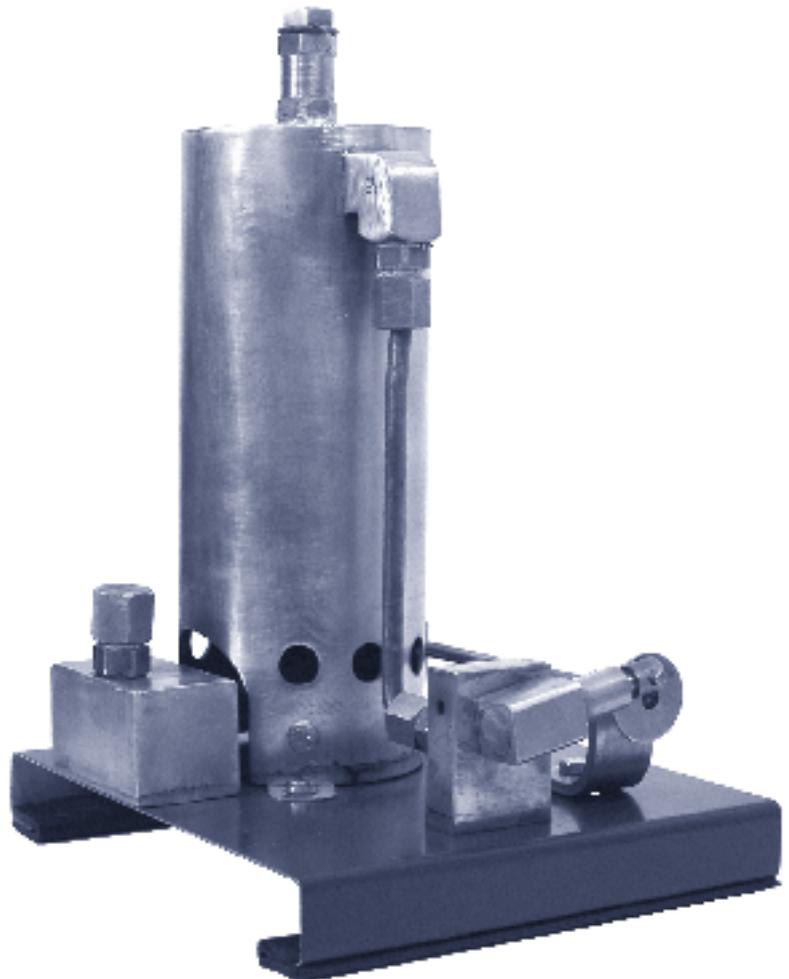
Teniendo en cuenta las posibilidades constructivas de una escuela técnica, llegamos a la conclusión de que es factible concretar un pequeño modelo de máquina de vapor con un sistema de simple acción (el vapor actúa desplazando el émbolo en un solo sentido, y no en ida y vuelta) y pistón oscilante, que simplifica la caja de distribución del vapor.

En cuanto al material de los elementos neurálgicos del sistema, nos decidimos por el latón (aleación de cobre y zinc), debido a su facilidad de maquinado y a su resistencia a la corrosión.

El análisis y la construcción de esta máquina de vapor permiten a los alumnos entrar al campo de muchos temas, tanto científicos como tecnológicos (conversión de energía, cambios de estado, transformación de movimientos, inercia, etc.), trabajar en el aula-

taller y, también, activar su creatividad al plantear distintas soluciones constructivas.

Una vez construida la máquina de vapor, los jóvenes pueden imaginar y construir dispositivos y/o elementos asociados, como modelos de pequeñas máquinas de taller que puedan conectarse mecánicamente con ella.



2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

La máquina de vapor y la energía mecánica. Enfoque histórico

La máquina de vapor es un motor de combustión externa que convierte la energía térmica, producto de la combustión de carbón, leña, gas, etc., en energía mecánica; el factor de mediación en esta conversión es el vapor de agua (Recordemos que en la combustión hay conversión de energía química en térmica).

La energía mecánica es el elemento vital de toda actividad física (muscular o maquina), pues toda actividad física entraña una energía que la sustenta, desde un esfuerzo muscular hasta el funcionamiento de un robot.

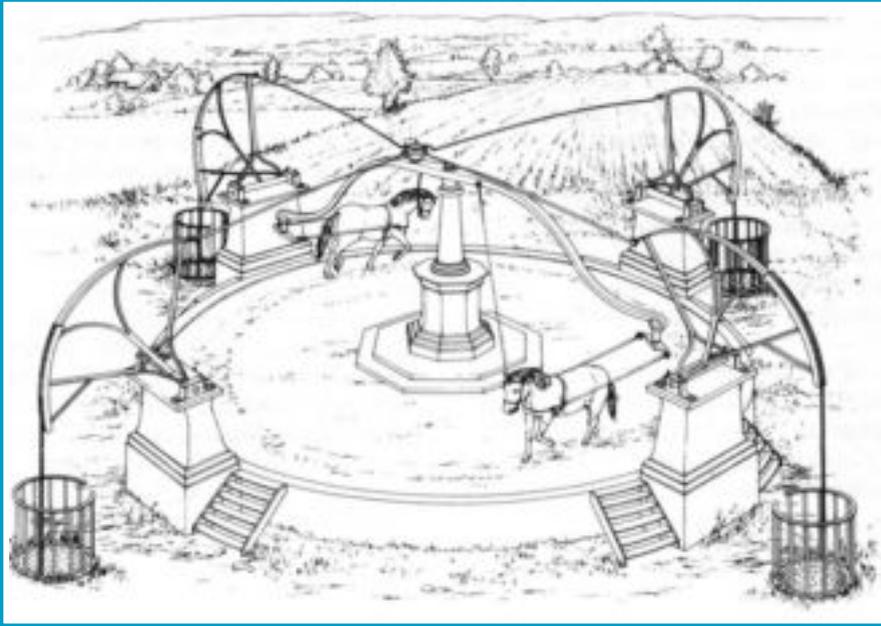
El esfuerzo físico humano fue la primera fuente de energía mecánica con que contó el hombre. Éste siempre buscó la forma de liberarse de ese esfuerzo, lográndolo en parte cuando aprendió a domesticar y a aparejar a los animales, transfiriéndole a ellos la realización de determinados trabajos.

Recordemos que un hombre normal puede desarrollar una potencia del orden de 1/7 de CV (Caballo Vapor; en inglés, HP *horse power*; 1 HP = 1,0038 CV), equivalente a unos 100 watt, si bien durante breves períodos puede llegar a resultar el doble.

En cuanto a los caballos, los arneses antiguos —que consistían en tiras que, pasando debajo del cuello del animal, lo ahogaban si éste tiraba demasiado— no le permitían realizar esfuerzos superiores al orden de 1/3 de CV, aproximadamente, equivalente a unos 260 a 300 watt. A partir del siglo X, en los países mediterráneos, se usa el arnés moderno, consistente en una collera almohadillada colocada en el cuello del animal y apoyada en sus huesos; esto le permite tirar sin problemas respiratorios ni circulatorios, multiplicando así su rendimiento, que llega al orden de 1 CV (736 watt). En la misma época comienza a usarse la herradura de hierro. Es interesante destacar que esa collera venía usándose en China desde los orígenes de nuestra era.

Hay múltiples ejemplos del uso de animales en esfuerzos de tracción o en el movimiento de máquinas; a continuación, mostramos algunos.





Noria que acciona cuatro bombas de agua



Perro suministrando energía mecánica a una piedra de afilar cuchillos; dibujo de 1860

También podemos señalar que algunos apelaron a descargar en otros hombres, los llamados esclavos, la realización de los trabajos más pesados; recordemos con horror los galeotes encadenados a los barcos, con los remos en la mano y sin posibilidades de desplazarse ni siquiera para satisfacer sus necesidades fisiológicas. La esclavitud, que en Europa desapareció en el medioevo, inexplicablemente subsistió en América (avalada por las autoridades religiosas y civiles de su época) hasta bien entrado el siglo XIX.

En la búsqueda de fuentes alternativas para reemplazar la energía muscular humana o la de los animales, merece destacarse un proceso que tuvo lugar a lo largo de la baja edad media y que cambió la faz del mundo. Nos referimos a la introducción sistemática de los molinos (primero, los de agua y, luego, los de viento) en las actividades productivas; su funcionamiento se sustenta en la energía

cinética, ya sea la del agua en movimiento (impulsada por la gravedad) o la del viento; es decir, en energías brindadas por la naturaleza. Durante el funcionamiento de estos ingenios hay transformación de energía cinética de translación, en energía cinética de rotación, que es la utilizable.

Como antecedente de la utilización del viento como fuente de energía se puede mencionar la navegación a vela.

Con la introducción de la máquina (los molinos) en la vida cotidiana de la sociedad europea, comienza a gestarse ese fenómeno característico del mundo actual, la mecanización, que hoy abarca no solamente las actividades productivas, sino también las de la vida cotidiana doméstica.

El desarrollo de la Europa medieval está íntimamente vinculado a estas fuentes de energía. Podemos plantear que:

La sociedad medieval marca el comienzo del reemplazo sistemático del trabajo muscular por el trabajo de la máquina, proceso que se acentuó notablemente durante la Revolución Industrial, una etapa del desarrollo de la sociedad occidental que se caracterizó por la sustitución no sólo del esfuerzo físico sino también de la actividad manual del hombre por la máquina. Como ejemplo, podemos mencionar la hiladora mecánica que reemplazó a la rueca, o el telar mecánico que reemplazó el telar manual.

Analizaremos este hecho (el reemplazo sistemático, en la Europa medieval, del trabajo de hombre por el trabajo de la máquina) pero

no las causas que lo motivaron. Simplemente, a título de comentario, mencionaremos algunas: por ejemplo hay quienes plantean que la causa principal fue la falta de mano de obra, posiblemente por la desaparición de la esclavitud o como consecuencia de las pestes; otros, sin embargo, consideran insuficiente este argumento y hablan, más bien, de un cambio de mentalidad frente a un cambio en la estructura social y a una nueva realidad que no aceptaba más, ni la existencia de fuerzas inviolables a las que el hombre debía someterse y que le impedían pretender dominar las fuerzas de la naturaleza (recordemos que se llegó a considerar ofensa sagrada todo intento de afectar el orden natural), ni el ideal del conocimiento desinteresado, característico de los griegos. El tema es complejo; nosotros nos remitiremos al hecho en sí: El reemplazo sistemático del trabajo del hombre por el trabajo de las máquinas (en la oportunidad, de los molinos de agua y de viento) y sus consecuencias.

Avanzando en este proceso de utilización de la máquina como fuente de energía mecánica, después de los molinos surgieron las máquinas de vapor (motores de combustión externa) que utilizan el vapor como generador de energía mecánica; y, en una etapa posterior, hicieron su irrupción los motores de combustión interna.

Es interesante destacar que, en los molinos, las fuerzas en juego son naturales; es decir, son fuerzas que brinda directamente la naturaleza (el agua en movimiento por efecto de la gravedad, o el viento). En los motores, tanto de combustión externa como interna, en cambio, las fuerzas son artificialmente

generadas mediante la conversión de la energía química de los combustibles en energía mecánica.

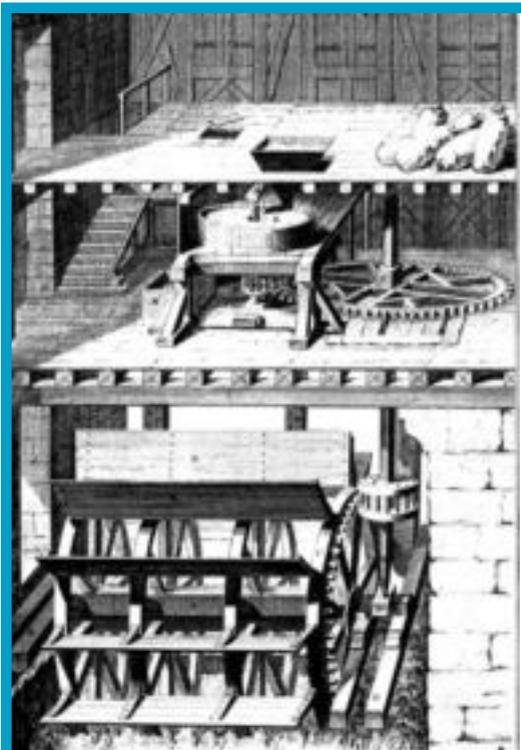
Con la invención de la máquina de vapor, el hombre comienza a disponer de energía mecánica en cantidades significativas y en el lugar que lo desea, independizándose de condicionamientos derivados de la geografía y el medio (ríos y vientos). Esto cambia el esquema productivo y, como consecuencia, toda la estructura social; la sociedad entra, entonces, en una nueva era, la era de la mecanización, mecanización que hoy abarca no sólo la estructura productiva sino el hogar.

Volviendo al tema de los molinos, podemos decir que si bien su introducción en la estructura social marca el comienzo de la mecanización en el mundo, en la antigüedad se conocían las máquinas, aún cuando no se las utilizaba sistemáticamente para simplificar el trabajo humano y su aplicación era restringida.

Tengamos en cuenta que la rueda hidráulica (molino de agua) había aparecido en el Cercano Oriente un siglo antes de Cristo (Vitruvio hace una descripción detallada de un molino hidráulico allá por el año 16 antes de nuestra era) y el molino de viento en Persia, probablemente también siglos antes de la era cristiana. Sin embargo, hay que esperar hasta el medioevo para que los molinos (tanto de agua como de viento) entren a formar parte integrante de la estructura productiva.

Los molinos de agua, que fueron los primeros que se usaron en forma sistemática

en Europa, si bien ya se conocían en la época de los romanos, no tenían un uso generalizado ya que éste, prácticamente, se reducía a la molienda de granos. En un principio, eran de eje vertical y requerían cursos de agua rápidos y grandes desniveles, por lo que se usaron sobre todo en zonas montañosas; se pueden considerar los precursores de las turbinas hidráulicas. Los de eje horizontal (llamados, también, ruedas hidráulicas) parecen ser posteriores y su uso se generalizó en el medioevo; primero, en la molienda del trigo y, luego, en otras actividades entre las que podemos mencionar, el abatanado de la lana (proceso consistente en golpear la tela en agua para encogerla y compactarla, y aumentar así su resistencia) y la fabricación de papel.



Molino de agua

En el siglo XIII y XIV también se utilizan molinos para accionar fuelles y martinets de forja, para mover sierras, etc. Y, más adelante, a partir del siglo XV, en el accionamiento de bombas para el drenado de minas, de máquinas de trefilar y como fuente de energía en las industrias textil y papelera. En general, se los siguió llamando *molinos*; aunque, en algunos casos, también ruedas hidráulicas. Cabe destacar que, en el mundo musulmán, el uso de los molinos de agua estaba casi exclusivamente restringido a la irrigación.

En el siglo XI, aproximadamente, aparece en Europa otra fuente de energía, los molinos de viento. Existen diversas opiniones sobre cómo llegaron y se difundieron; según una vieja tradición, la idea fue traída por los

cruzados; pero, también se dice que llegaron primero al norte de Europa siguiendo las rutas comerciales que atravesaban Persia, el mar Caspio y los ríos rusos; y, según otros, su aparición fue consecuencia de la expansión islámica vía Marruecos y España. Inicialmente, el molino de viento, en su versión europea, estaba montado sobre un sólido poste de madera que permitía que el molino (en este caso, llamado molino de poste) pudiera ser girado para orientarlo con vistas al viento, lo que limitaba su tamaño. Para subsanar este problema, se apeló a lo que se llamó molino de torre, en el que el edificio y la maquinaria están inmóviles, y sólo gira la parte de arriba, solidaria con las aspas, para poder orientarlas ante el viento. Esta modificación permitió la construcción de unidades más grandes.

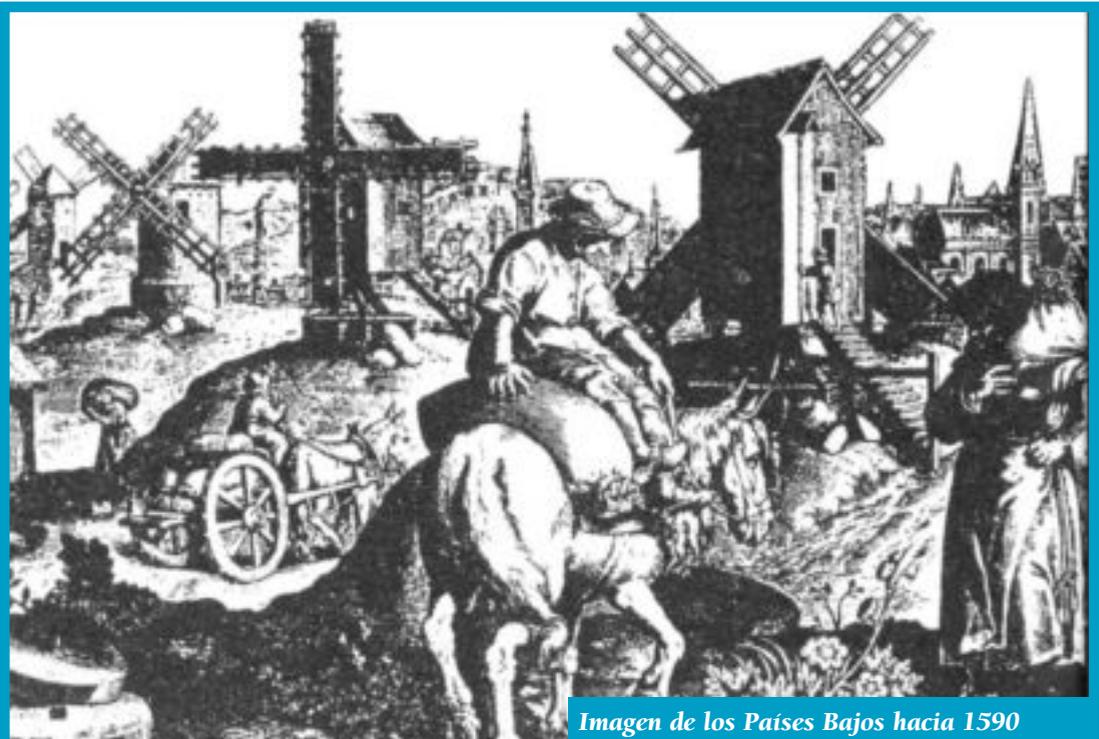
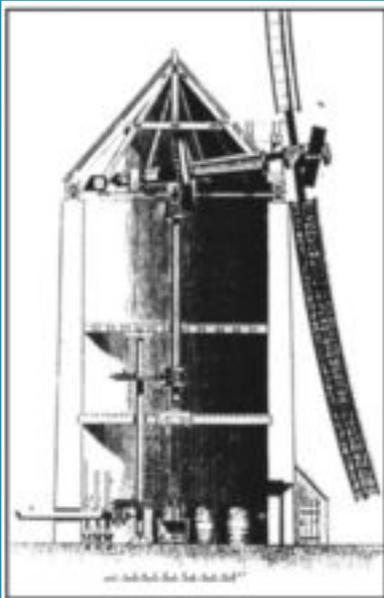
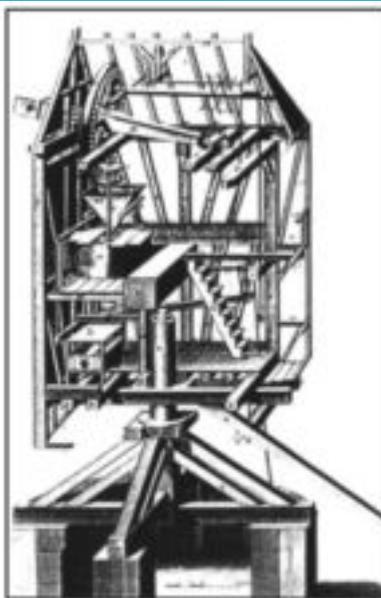


Imagen de los Países Bajos hacia 1590



Molino de torre



Molino de poste

pero, la diferencia substancial es que la energía del viento o del agua debe ser utilizada *in situ*, lo que imponía límites a la localización de las actividades productivas en función de la geografía y del clima. La difusión de los molinos en Europa marcó el comienzo de la ruptura con el mundo tradicional y un lejano preanuncio de la Revolución Industrial.

El proceso de mecanización de las acti-

Una innovación posterior, la "cola de viento", inventada por Edmund Lee en 1745, permitió la construcción de molinos de viento que pueden mantener sus aspas automáticamente con vistas al viento. Éste es, probablemente, uno de los primeros ejemplos de control automático en el campo de la mecánica.

Los hombres de la Edad Media y del Renacimiento construyeron molinos de agua y de viento en cada localización en la que les fue posible, lo que les permitió disponer de energía para incrementar el proceso productivo; esto no sucedió en otras partes del mundo.

Estos molinos fueron la primera fuente de energía basada en las fuerzas de la naturaleza y, para su época, representaron lo que hoy puede ser el carbón, el petróleo o el uranio;

vidades productivas promovió una importante evolución de la técnica; por ejemplo: el desarrollo de los molinos hidráulicos y eólicos trajo aparejado el desarrollo de muchísimos mecanismos conexos (ruedas dentadas, bielas, etc.). Es interesante destacar que este proceso de mecanización fue un fenómeno típicamente europeo que no se dio en otras partes del globo. Como ejemplo, podemos mencionar el caso del papel que aparece en China en el año 100 y recién llega a Europa a través de los árabes en el siglo XII o XIII (el recorrido de la llamada ruta del papel, de China a Europa, requirió más de mil años); durante todo ese tiempo, los chinos lo fabricaron manualmente, mientras que desde su introducción en Europa se lo fabricó con medios mecánicos.

Recordemos que, en esa época, tanto en

China como en los países árabes, existía un nivel técnico comparable y, en muchos casos superior, al de Europa; pero, la evolución de la mecanización y, consecuentemente, de la técnica en ese continente hace que todo comience a cambiar y, en poco tiempo, Europa pase a la cabeza del mundo.

Refiriéndose a la técnica de los chinos, Gimpel comenta que "sus grandes inventos no desempeñaron jamás un papel determinante en la evolución histórica del país."¹

Posiblemente, la mecanización fue la llave maestra que le permitió a Europa conquistar el mundo; sin el galeón y las armas de fuego de la época, todos productos de una técnica mecanizada, eso no hubiera sido posible.

Durante la Edad Media, la actividad técnica fue intensa. Muchos de los inventos que tuvieron lugar durante ese período sentaron las bases del mundo moderno; por ejemplo, el reloj mecánico —la máquina más compleja de la época y elemento clave del proceso de industrialización— hizo su aparición en el siglo XIII.

La invención del reloj mecánico marca una importante ruptura con el mundo natural. A partir de entonces, ya no será más la salida del sol o el canto del gallo el que señalará el comienzo del día, sino el reloj que, además, condicionará el ritmo de todas las actividades cotidianas. Podemos mencionar, también, el uso de la brújula (invento chino que los europeos conocieron por intermedio de los

árabes) y de la pólvora (invento, también, probablemente chino, pero que no parece haber sido utilizado por éstos con fines bélicos).

Todos estos hechos preludiaron grandes cambios en la estructura económica y socio-cultural de la época; el reloj, máquina precursora del mundo actual, planteó una nueva concepción mecánica del tiempo y fue sincronizando las acciones humanas imponiéndoles un ritmo (el ritmo de la máquina) que posibilitó, más tarde, el surgimiento del mundo industrial moderno. La brújula abrió el camino a la expansión de la navegación marítima; el uso de la pólvora y de las armas de fuego marcó el comienzo del fin de la estructura feudal (los castillos feudales, baluartes hasta entonces muchas veces casi inexpugnables dejaron de serlo frente a las bocas de fuego).

Con justa razón puede hablarse de una revolución técnica en el medievo, resultado de un desarrollo técnico y de una cultura técnica que es consecuencia de la presencia de la máquina en la vida cotidiana, pero no como caja negra, como caja cerrada, sino como algo abierto a la vista de todos, entendible por todos. Los molinos eran sin lugar a dudas lugares públicos donde cada uno venía a moler su grano, y allí la máquina mostraba sus entrañas: los ejes, los engranajes, las piezas funcionales.

El desarrollo técnico de la Edad Media generó una **cultura técnica** que influyó en la evolución de la sociedad europea y contribuyó de manera decisiva al nacimiento del mundo actual; fue un factor importante en el surgimiento del Renacimiento y una pieza

¹ Gimpel, J. (1981) *La revolución industrial en la Edad Media*. Taurus. Madrid.

clave de la Revolución Industrial, partida de nacimiento de la sociedad industrial.

Los logros técnicos del medioevo hicieron que el hombre europeo comenzara a tomar conciencia de su capacidad para utilizar y hasta dominar las fuerzas de la naturaleza, lo que le acrecentó la confianza en sí mismo y mentalmente comenzó a superar una sensación de sujeción, de subordinación, casi podríamos decir de obediencia y de respeto, frente al mundo natural en el que está inmerso y a sentirse dueño de sí y del mundo.

Esto amplió el alcance de sus posibilidades y comenzó a perder la noción de límite, tanto en sus aspiraciones como en la utilización de los recursos de la naturaleza (fundamentalmente en lo referente a los no renovables) y a entrever la posibilidad de ser el constructor de un nuevo mundo, un mundo artificial hecho a su medida.

En pocos siglos el hombre logró materializar en parte sus utopías y construir ese mundo artificial en el que vivimos, un mundo tecnológico cuya gestación comenzó en el medioevo con la introducción sistemática de la máquina en la estructura social (los molinos) y cuyo segundo gran salto fue la invención de la máquina de vapor y su aplicación en la estructura productiva; un mundo con grandes ventajas, pero también con sus grandes problemas: contaminación, degradación del medio ambiente, uso indiscriminado de los recursos no renovables, etc.

Sería imposible concebir le invenciones que tuvieron lugar en la Europa de los siglos XVIII y XIX, como por ejemplo las máquinas de vapor, de hilar, de tejer, etc., si no hubiera

habido una cultura técnica que lo posibilitara, tengamos en cuenta que muchos de los inventores de la época eran simples técnicos o artesanos -hábiles y ambiciosos- que tenían el sentido de la técnica.

La energía y sus transformaciones

En las máquinas que hemos visto en los párrafos anteriores hay una energía final en juego que proviene de la transformación o conversión de alguna forma de energía, teniendo en cuenta que la energía no puede ser creada ni destruida, pero sí sufrir transformaciones (ley de conservación de la energía).

En términos físicos, podemos decir que **energía es todo lo que, directa o indirectamente, se puede convertir en trabajo mecánico; en otras palabras, es la capacidad de los cuerpos o sistemas de cuerpos para efectuar un trabajo.**²

El término energía abarca un conjunto de magnitudes —aparentemente diferentes, pero íntimamente relacionadas entre sí— que son las diferentes formas en que se presenta la energía. Desde nuestra óptica podemos clasificarla en seis fundamentales:

² Con este enfoque parcializamos un poco el tema, ya que hacemos abstracción de la esencia de la energía y la vinculamos, fundamentalmente, a su manifestación como generadora de trabajo. Por razones de simplicidad y facilidad de comprensión aceptamos —en principio— este planteo, dejando asentado que, en el concepto de energía, subyace un contenido más abstracto.

- Energía mecánica (potencial o cinética).
- Energía térmica.
- Energía química.
- Energía eléctrica.
- Energía radiante (radiación electromagnética).
- Energía nuclear.

También se puede hablar —en función de las fuentes de donde proviene o de sus características— de energía eólica, hidráulica, mareomotriz, muscular, geotérmica, luminosa, etc.; pero, teniendo en cuenta que son variantes o aspectos parciales de las seis formas fundamentales que hemos planteado.

La **energía mecánica** que corrientemente se pone de manifiesto en los movimientos, desplazamientos, etc., puede ser potencial o cinética.

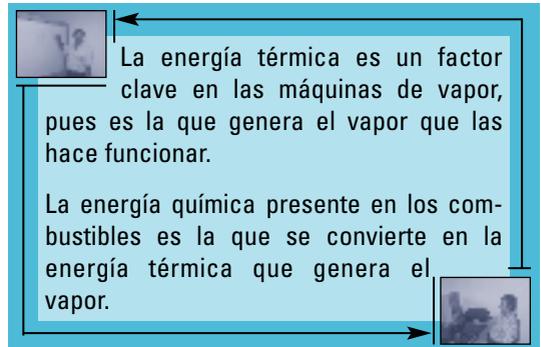
La **energía térmica** está presente en la combustión, en el calentamiento por frotamiento, etc.; en muchos casos, es una energía de transición. Como ejemplo de elementos que pue-

La **energía potencial** es la capacidad para efectuar trabajo que posee un cuerpo, debido a su configuración o su posición (por ejemplo: un resorte comprimido, un cuerpo que puede caer o una masa de agua que tiende, por gravedad, a bajar hasta el nivel del mar).

La **energía cinética** es la capacidad para efectuar trabajo que posee un cuerpo o una masa de agua debido a su estado de movimiento.

den ser generadores de energía térmica podemos mencionar la hulla, el petróleo, el gas natural y otros combustibles.

La **energía química** tiene las características de ser una energía de reserva que posibilita otras formas de energía. Como ejemplo de elementos depositarios de energía química podemos mencionar: los combustibles, los explosivos, las pilas, los acumuladores, los músculos, etc.



La **energía eléctrica** es una de las más versátiles; su generalización y uso en todos los campos del quehacer humano se remonta a poco más de un siglo y está íntimamente asociada al desarrollo del mundo de hoy. La circulación de corriente es una manifestación de la energía eléctrica. La energía eléctrica utilizable no se obtiene directamente de la naturaleza, sino que es el resultado de la conversión de otro tipo de energía —sea ésta mecánica (dínamos y alternadores), química (pilas), térmica (par termoeléctrico) o radiante (célula fotovoltaica)— en eléctrica.

La **energía radiante** se presenta bajo la forma de luz visible, radiaciones electromagnéticas: rayos X, rayos gamma, rayos ultravioletas, rayos infrarrojos, ondas hertzianas, etc. La zona visible de la energía radiante corres-

ponde a la energía luminosa.

La **energía nuclear** es la que mantiene unida las partículas en el núcleo de los átomos y se pone de manifiesto bajo forma de energía térmica, cuando se produce la fisión de núcleos de elementos químicos pesados como el uranio, o la fusión entre sí de núcleos de elementos de peso atómico bajo. Actualmente, tiene aplicaciones prácticas solamente la fisión nuclear.

Las energías térmica, química, eléctrica, radiante y nuclear, directa o indirectamente, se pueden transformar en energía mecánica.

Habiendo planteado la energía como la capacidad para producir trabajo, veamos qué es el trabajo.

Desde el punto de vista de la física, **trabajo** es el producto de una fuerza por el desplazamiento del punto de aplicación de la misma; se realiza un trabajo cuando al aplicar una fuerza se produce un desplazamiento; por ejemplo, si aplicamos una fuerza (F) a un móvil, cuando el móvil se mueve una distancia (d), efectuamos un trabajo (T); el trabajo es energía puesta en acción.

La relación entre el trabajo (T), la fuerza (F) y el desplazamiento en el sentido de la fuerza, es decir la distancia recorrida (d), se expresa por la fórmula:

$$T = F \cdot d$$

El trabajo y la energía se miden con la misma unidad: kilowatt-hora (kWh), kilográmetro (kgm), joule (J), caloría (cal), etc.

Energía y trabajo son dos conceptos asociados al hombre, a su desarrollo y a su evolución.

El trabajo que se lleva a cabo en la unidad de tiempo es lo que se llama potencia. La potencia es el ritmo del trabajo. Existen varias unidades de potencia; entre ellas, podemos mencionar el caballo vapor (CV) y el watt (W).

Fuentes de energía

La energía de que disponemos proviene:

- **Del Sol** (combustibles fósiles, vientos, corrientes de agua, biomasa).
- **Del proceso cósmico que dio nacimiento al sistema solar** (energía nuclear y energía geotérmica).
- **De la atracción gravitatoria Sol-Tierra-Luna** (energía de las mareas); ésta es, relativamente, mucho menos importante que las otras dos.

La fuente más importante de energía de que dispone el ser humano es el Sol. Como todas las estrellas, ésta es un gigantesco reactor termonuclear que transforma una parte de su materia en energía, que emite bajo la forma de radiaciones (luz visible, calor, rayos gama, etc.).

Los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo y gas natural), representan energía solar acumulada a través de siglos.

El viento y los ríos (también fuentes proveedoras de energía) son consecuencia del calor

del Sol, que llega a la Tierra (calentando su superficie, lo que provoca movimientos de aire y consecuentemente los vientos; o evaporando el agua que, luego, precipita bajo forma de lluvia, y alimenta los ríos y mares, cerrando el ciclo meteorológico).

La madera, otra fuente de energía, es consecuencia de un proceso de fotosíntesis debido a la radiación solar. La fotosíntesis, única fuente disponible de materia orgánica, es el proceso fundamental que hace que se conserve la vida en la Tierra, pues permite que las plantas elaboren las sustancias que necesitan para su desarrollo; y, como a su vez, las plantas sirven de alimento a los animales herbívoros, los que a su vez son el alimento de los carnívoros, la vida continúa; podemos decir que la fotosíntesis es el fenómeno vital de nuestro planeta.

La fotosíntesis es el proceso por el cual la clorofila de las plantas convierte parte de la energía luminosa que recibe en energía química; durante este proceso, transforma el anhídrido carbónico (CO₂) y el agua, en glúcidos (H-C-OH), glucosa, almidón, celulosa, etc. y en oxígeno; es decir, convierte materia inorgánica en materia orgánica.

Transformaciones de energía

Consideremos algunos ejemplos de transformación de energía:

- En el molino de viento, la energía eólica (energía cinética del aire en movimiento)

se transforma en energía mecánica presente en un eje que gira.

- En el proceso de combustión, la energía química del carbón mineral o de la leña se transforma en energía térmica. Esta energía térmica puede generar vapor de agua que, aplicado a una máquina de vapor, genera energía mecánica.
- En motores de combustión interna, la energía química de combustibles líquidos como nafta o gasoil se transforma en energía mecánica.
- En los molinos de agua o en las turbinas hidráulicas, la energía hidráulica (fuerza viva de una corriente o de un salto de agua) se transforma en energía mecánica;
- En una dinamo o en un alternador, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica. La dinamo entrega corriente continua mientras que el alternador entrega corriente alterna —es decir, corriente cuyo sentido se invierte periódicamente—.
- En las pilas, la energía química se transforma en energía eléctrica, por una reacción química.
- La energía nuclear mantiene unidas las partículas en el núcleo de cada átomo y que puede ser liberada bajo la forma de energía térmica y radiante.
- En un motor, la energía eléctrica se transforma en energía mecánica; o, en un calefactor, en energía térmica.
- Con la fricción, la energía mecánica se transforma en energía térmica.
- Etc.

Estos ejemplos nos muestran que no siempre la energía se encuentra en la forma más adaptada para cumplir la función requerida, por lo que suele ser necesario transformarla de una forma en otra.

El concepto de transformación de la energía es amplio y, en muchos casos, implica su conversión. Para

Entendemos por **conversión** a la transformación de una forma fundamental a otra.

aclarar el tema, veamos algunos ejemplos: los molinos de viento o de agua transforman la energía mecánica del viento o del agua (energía eólica e hidráulica, respectivamente) en energía mecánica presente en un eje que gira; pero, no hay conversión de energía: antes y después de la transformación tenemos energía mecánica —si bien bajo distintas características—. En otros casos, la transformación implica conversión: en un motor de combustión interna hay conversión de energía química en energía mecánica, en una máquina de vapor hay conversión de energía

térmica (resultado de la conversión de energía química en térmica en un quemador) en mecánica, en una plancha hay conversión de energía eléctrica en térmica; en estos ejemplos, la energía que alimenta el dispositivo es de una forma distinta de la que entrega.

Otro ejemplo interesante de destacar es el organismo humano, que convierte gran parte de la energía química de los alimentos en energía mecánica (que se pone de manifiesto en el trabajo muscular) y en energía calórica. La mayor parte de la energía contenida en los alimentos sirve para producir calor y no trabajo muscular. Tengamos en cuenta que el calor del cuerpo es esencial para la supervivencia y que el hombre, como todo ser viviente, convierte energía.

Los dispositivos o máquinas que convierten un tipo de energía en otro se llaman conversores de energía. A continuación, mencionamos algunos conversores y las correspondientes energías de entrada y de salida.

Convertor de energía	Energía de entrada	Energía de salida
Motor de combustión interna	Energía química	Energía mecánica
Quemador	Energía química	Energía térmica
Máquina de vapor	Energía térmica	Energía mecánica
Lámpara de luz incandescente	Energía eléctrica	Energía radiante y térmica
Lámpara de luz fría	Energía eléctrica	Energía radiante
Plancha eléctrica	Energía eléctrica	Energía térmica
Plancha de gas	Energía química	Energía térmica
Par termoeléctrico	Energía térmica	Energía eléctrica
Resistencia eléctrica	Energía eléctrica	Energía térmica
Motor eléctrico	Energía eléctrica	Energía mecánica
Dínamo y alternador	Energía mecánica	Energía eléctrica
Pila	Energía química	Energía eléctrica
Célula fotovoltaica	Energía radiante	Energía eléctrica
Reactor nuclear	Energía nuclear	Energía térmica
Cuerpo humano (termorregulación)	Energía química	Energía térmica
Cuerpo humano (músculos)	Energía química	Energía mecánica
Micrófono	Energía mecánica	Energía eléctrica
Altavoz	Energía eléctrica	Energía mecánica

Rendimiento

En todo proceso de transformación de energía, una parte de la energía se pierde bajo forma de calor. Para evaluar la relación entre la energía que entrega un dispositivo y la que absorbe, se utiliza el concepto de rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía que entrega}}{\text{Energía que recibe}}$$

A continuación, indicamos el rendimiento aproximado de algunas máquinas.

Máquina de vapor: 10-15 %
Motor de explosión: 25-30 %
Motor diesel: 35-40 %
Turbina de vapor: 35-45 %
Turbina hidráulica: 75-90 %
Motor eléctrico: 80-90 %
Alternador: 85-95 %
Transformador eléctrico: 99 %

Génesis de la máquina de vapor

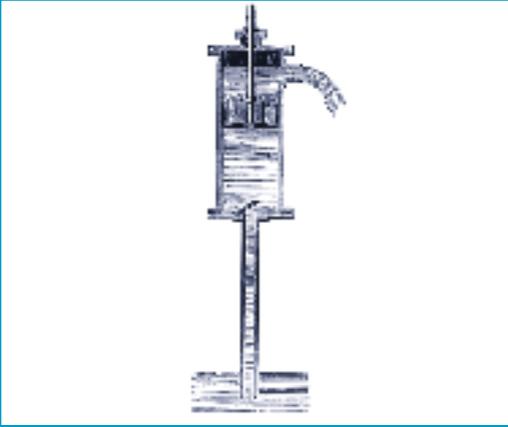
Buscando rastrear los antecedentes del uso del vapor como fuente de energía mecánica, nos remontamos a la civilización helénica y, en particular, a Herón de Alejandría (que, posiblemente, vivió en el siglo II a. C. y del que se piensa que fue discípulo de Ctesibio) quien, en un manuscrito titulado *Spiritualia seu Pneumática* menciona diversas máquinas —algunas, posiblemente, inventadas por Ctesibio (célebre sabio y mecánico que vivió en el siglo III a. C., y que inventó la bomba aspirante-impelente); decimos "posible-

mente" debido a que en el texto nada indica quién pudo ser el autor de los dispositivos descritos pues, como dice en su obra, su intención es recopilar las máquinas que eran conocidas y añadir las inventadas por él—; porque Herón es el primer mecánico cuyas obras escritas han llegado hasta nuestros días.

A título de comentario y por su vinculación con las primeras máquinas de vapor —que fueron concebidas para accionar bombas de agua— haremos una breve descripción de las bombas aspirante y aspirante-impelente que, según la tradición, fueron inventadas por Ctesibio.

Comenzamos con la bomba aspirante que consta de un cilindro o cuerpo de bomba, y un émbolo (pistón) que se desplaza ajustadamente en su interior; el fondo de este cuerpo de bomba está conectado, vía una válvula de apertura y cierre, a un caño que se prolonga hasta sumergirse en el agua. La válvula permite la entrada de agua al cuerpo de bomba pero bloquea su salida. El émbolo también tiene una válvula que se abre y cierra en el mismo sentido que la primera.

Al desplazarse el émbolo en su carrera ascendente, parece absorber el líquido; de aquí proviene el nombre de la bomba aspirante. Pero, como veremos más adelante, es la presión atmosférica actuando sobre la superficie libre del agua la que provoca su ascensión y su entrada al interior de la bomba, y no el vacío que se produce al subir el émbolo. En la carrera descendente del émbolo, su válvula se abre y el agua pasa a la parte superior de la bomba; en la carrera ascendente del émbolo, esta válvula se cierra y el agua se vuelca al exterior.



Bomba aspirante

En la bomba aspirante-impelente, el émbolo no tiene válvula; pero, además de la que está en el fondo de la bomba, hay otra en la parte inferior que, actuando en sentido inverso, permite la salida del agua durante la carrera descendente del émbolo; vinculado a esta válvula hay un caño que posibilita llevar el agua impelida por el émbolo hasta una altura que es función de la presión que se ejerce sobre el émbolo.



Bomba aspirante-impelente

Volviendo a las máquinas inventadas por Herón, muchas fueron simples juegos y otras estaban concebidas para usos sagrados; en este caso, cumplían una función religiosa, convirtiendo a los templos en lugares de misterio. La característica más interesante de estos ingenios es la utilización del aire caliente o el vapor para su funcionamiento; por ejemplo, en dispositivos a reacción para hacer girar figuras en un altar. Sin embargo, pese al talento puesto en juego en su desarrollo, no representaron ningún progreso técnico y nada hicieron para ayudar al hombre en sus labores ni para incrementar su control sobre su entorno físico; es decir, no se utilizaron para fines prácticos.

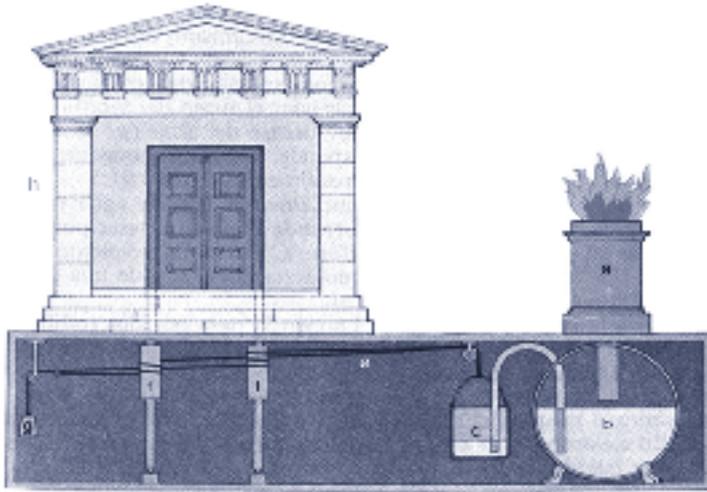
Entre las máquinas concebidas por Herón es interesante mencionar la eolipila.

La eolipila es una bola hueca que gira sobre dos pivotes colocados en la tapa de un recipiente en el que hierve agua; uno de los pivotes es hueco y por él circula el vapor que, entrando en la bola, sale por dos tubos acodados solidarios a ésta, haciéndola girar por reacción.



Podríamos considerar a la eolipila como un ancestro de la máquina de vapor; sin embargo, este dispositivo no dejó de ser un simple artilugio para la curiosidad, lo que nos plantea una pregunta: ¿Por qué no se llegó a utilizarla como fuente de energía mecánica y hubo que esperar casi 18 siglos para que esto tuviera lugar? Las razones pueden ser múltiples; pero, posiblemente, dos sean las funda-

mentales: la sociedad de la época no requería nuevas formas de energía mecánica, ya que tenía a los esclavos y, además, no había muchas máquinas que mover; y, por otro lado, el desarrollo técnico de entonces no posibilitaba una aplicación práctica de esta invención —si hubiera sido necesaria, posiblemente no hubieran pasado casi 18 siglos sin intentar desarrollarla—.



A título de curiosidad también podemos señalar un mecanismo diseñado por Herón para abrir las puertas del templo. El dispositivo constaba de: un altar (a) sobre el cual se encendía fuego, una esfera (b) llenada parcialmente de agua, un caño (c) que actuaba como sifón, un balde (d) que pendía de una polea, un sistema de cuerdas (e) fijadas al balde, dos cilindros (f) solidarios a los ejes de las puertas y sobre los cuales se enrollaban las cuerdas, y un contrapeso (g) en el otro extremo de las cuerdas.

Cuando sobre el altar (a) se encendía el fuego del sacrificio, el aire dentro de él se expandía y, al aumentar la presión en la esfera (b), el agua se veía forzada a pasar por el sifón (c) al balde (d) que descendía tirando las cuerdas (e), las que —actuando sobre los cilindros (f) solidarios a los ejes de las puertas— provocaban el giro del eje y que las puertas se abrieran. Cuando el fuego se apagaba, la presión del aire dentro del altar volvía a ser normal, el agua del balde volvía a la esfera a través del sifón y el contrapeso (g) hacía que las puertas volvieran a cerrarse.

Después de las experiencias de Herón hay que llegar al siglo XVII para encontrarse con las primeras máquinas que utilizan el vapor de agua como fuente de energía mecánica. Ahora bien, estas máquinas utilitarias estaban asociadas no sólo al poder expansivo del vapor de agua, sino a la presión atmosférica y al vacío³ (vacío que se produce cuando el vapor se condensa), conceptos de los que recién se comienza a tomar conciencia como resultado de los experimentos de Evangelista Torricelli (1608-1647), discípulo de Galileo Galilei (1564-1642). Si bien hoy el vacío y la presión atmosférica nos parecen hechos obvios, para los científicos del siglo XVII eran cuestiones de profundas discusiones filosóficas. El vacío no podía existir —lo decía Aristóteles y lo corroboraba Descartes (1596-1650)—; la naturaleza tenía horror al vacío (la teoría del *horror vacui*).

Pero, un hecho concreto que, a posteriori, se vincula al tema, preocupaba a los investigadores de la época; la experiencia demostraba que no era posible elevar el agua con las bombas aspirantes —llamadas así porque el émbolo parecía aspirar el líquido a medida que el émbolo subía—, cuando la profundidad a la que se encontraba superaba los 32 pies (10,33 metros), lo que contradecía el principio de la no-existencia del vacío —pues, evidentemente, en la parte superior de la columna la bomba producía un vacío que no era llenado por el agua—. Así estaban planteadas las cosas cuando entra en escena Torricelli, quien llega a la conclusión de que

el agua sube por presión atmosférica y no por succión, hasta una altura en la que el peso de la columna de agua alcanza el valor de la presión atmosférica y, luego, no sube más, por muy alto que sea el vacío que se haga. En sus experiencias, por cuestiones de dimensión (para evitar tener un tubo de más de 10 metros), utiliza mercurio, un líquido catorce veces más pesado que el agua, pensando que la altura de la columna sería proporcionalmente menor. Tomando un tubo de cristal de 800 mm, cerrado en uno de sus extremos, lo llenó de mercurio, lo tapó con el dedo e, invirtiéndolo, lo sumergió en una cubeta que contenía mercurio; una vez retirado el dedo, corroboró sus cálculos al constatar que la columna tenía una altura de 760 mm por encima del nivel del mercurio de la cubeta, independientemente del vacío presente en la parte superior de la columna. Esto muestra que el vacío no produce aspiración, —pues si no seguiría aspirando—; lo que pasa es que, al no actuar sobre la superficie libre de la columna, ésta sube hasta que su peso compensa el valor de la presión atmosférica. Como la presión atmosférica varía en función de la altura y de condiciones climáticas, la altura de la columna de mercurio sufre las variaciones correspondientes. Éste es el principio del primer barómetro, el barómetro de cubeta; pero, luego, surgieron también otros tipos de barómetros.

Estos nuevos conceptos —vacío y presión atmosférica— despertaron el interés de físicos e investigadores de la época que se dedicaron a realizar experiencias sobre el tema; entre ellos merece destacarse Otto von Guericke (1602-1686) burgomaestre de Magdeburgo, que perfeccionó la llamada bomba aspirante-impelente de Ctesibio,

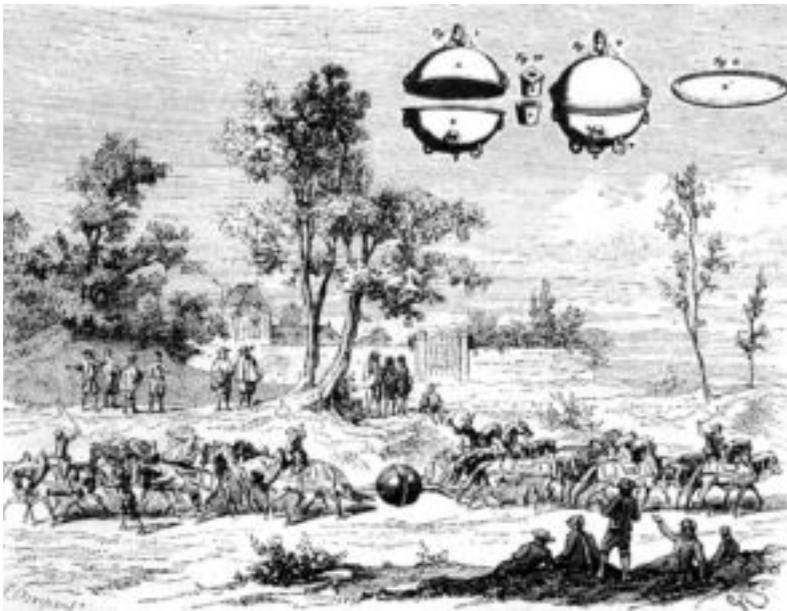
³ Se habla de vacío o gas enrarecido, cuando éste se halla en un estado de presión menor que la atmosférica. Se distinguen diversos grados de vacío: muy alto, alto, medio y bajo.

bomba que luego utilizó en sus experiencias vinculadas al vacío. Su más famosa fue la de los "Hemisferios de Magdeburgo", llevada a cabo en Ratisbona en 1654. Ésta —que demostró la inmensa fuerza que podía ejercer la atmósfera— consistía en la imposibilidad de separar, ni siquiera con la ayuda de ocho pares de caballo, dos grandes hemisferios de cobre enfrentados para formar una esfera de 50 cm de diámetro herméticamente cerrada, en la que se le había efectuado el vacío.

Otro de los investigadores que merece ser recordado por ser uno de los más importantes precursores del empleo del vapor con fines prácticos fue Denis Papin (1647-1714), físico e inventor francés que estudió y se doctoró en medicina en París; pero que, atraído por las ciencias físicas, abandonó la medicina y se interesó por las investigaciones de Christian Huygens (1629-1695), del que fue discípulo; ambos investigaron sobre el vacío y el comportamiento del vapor de agua, que

puede alcanzar un volumen del orden de 1700 veces el volumen de la masa líquida que lo generó. Huyendo de las persecuciones religiosas, por declararse calvinista (hugonote), abandona Francia y se dirige a Alemania y, más tarde, a Inglaterra donde profundizó sus estudios con Robert Boyle (1627-1691).

El 16 de diciembre de 1681, Boyle lo hace entrar en la Sociedad



Con su famosa experiencia, Guericke demostró la falsedad de los dogmas que habían circulado sobre el horror de la naturaleza al vacío; y, sobre el tema escribió el libro *Experimenta nova vacuo spatio*. De este libro se reproduce una imagen en la cual se ve un grupo de 50 hombres intentando sacar un émbolo del interior de un cilindro del cual se había extraído el aire.



Real de Londres, donde en 1681 presenta —con el título "New Digestor", su "Digestor" o "Marmita de Papin"— la que hoy, corrientemente, es llamada "Olla a presión". En la presentación expresa que ésta brinda una cocción más rápida que el agua hirviendo en condiciones normales y que las sustancias susceptibles de disolverse, como la gelatina de los huesos, se ablandan y deshacen con mucha facilidad. La marmita consta de una vasija o recipiente de pared recia y resistente con una tapa que la cierra herméticamente, con lo que se logra que, cuando se calienta, el vapor que se produce eleva la presión en su interior y, como consecuencia, también su temperatura. Recordemos que la temperatura de ebullición del agua es función de la presión. A nivel del mar, la temperatura de ebullición es de 100 °C, pero cuando disminuye la presión por efecto de la altura, disminuye también la temperatura de ebullición; y, por el contrario, cuando aumenta la presión, aumenta también la temperatura. En el caso de la olla a presión, la temperatura llega al orden de 115 a 120 °C, dependiendo del calor suministrado y de la presión, cuyo valor máximo está fijado por una válvula de seguridad incorporada a la marmita —válvula también inventada por Papin y que, originalmente, consistía en una varilla articulada en uno de sus extremos que, actuando sobre una pequeña válvula, obtura la salida del vapor—. Sobre esta varilla hay un peso que se desplaza en función de la presión máxima que se fije; cuando ésta supera el valor prefijado, la válvula se abre, permitiendo la salida del vapor lo que impide una sobre elevación de presión con el correspondiente riesgo de explosión de la olla. La válvula de seguridad, tal como la inventó Papin, se sigue usando hoy.



Marmita de Papin o digestor

En sus orígenes y hasta inicios del siglo XX, época en la que se comienza a comercializarla con el nombre de "Olla a presión", se la conoció con el nombre de "Digestor"; y, desde su existencia, es la solución para quienes requieren una temperatura de ebullición superior a los 100 °C (por ejemplo, para extraer la llamada cola de carpintero⁴ de los huesos) o para cocinar en zonas muy altas donde la presión es baja y la temperatura de ebullición también. Como ejemplo, mencionamos que en las zonas muy altas de la Puna boliviana el huevo no se pone duro, pues la temperatura de ebullición del agua a esa altura no alcanza para coagular la proteína.

⁴ Cola que se calentaba a Baño María y que, antes de la aparición de los adhesivos vinílicos, se usaba corrientemente en las actividades de carpintería.

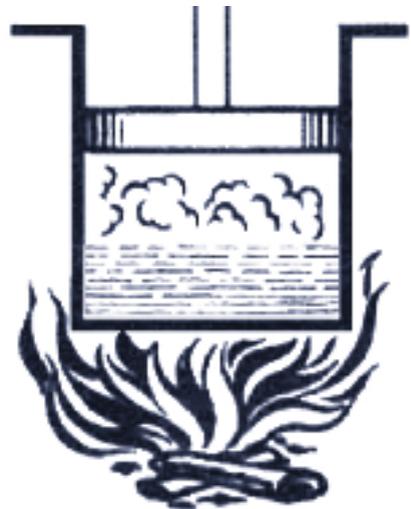
Tabla de alturas

Temperatura de ebullición	Presión en milímetros de mercurio	Altura en metros
83	400,60	5075
84	416,80	4790
85	433,60	4510
85,5	442,30	4356
86	450,90	4208
87	468,70	3955
88	487,10	3600
88,5	496,60	3430
89	506,10	3290
89,5	515,90	3090
90	525,76	2960
90,5	535,83	2790
91	546,05	2680
91,5	556,44	2580
92	566,99	2400
93	588,60	2050
94	610,90	1770
94,5	622,31	1580
95	633,90	1475
96	657,62	1160
97	682,07	870
98	707,27	610
99	733,24	300
100	760,00	0

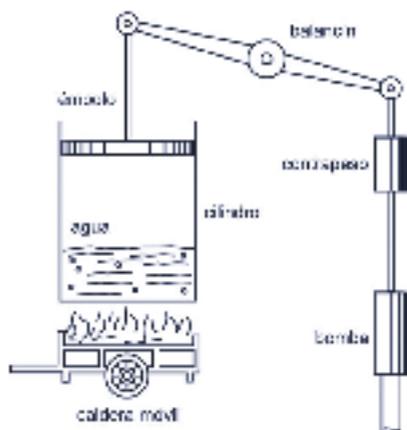
En 1687, el príncipe Carlos de Hesse le ofrece a Papin una cátedra de matemáticas y física en la Universidad de Marburgo a donde se traslada y continúa sus investigaciones sobre el vapor. Con el título *Un nuevo método para obtener a bajo precio fuerzas motrices considerables*, en 1680 publica un ensayo en el que sienta las bases del empleo del vapor para generar energía mecánica, al decir: "Tomad un receptáculo cilindro que contenga agua y esté cerrado por un émbolo (pistón); si se lo calienta, se produce vapor que levanta el émbolo; dejad que se enfríe y

el vapor se vuelve a convertir en agua; entonces, por efecto de la presión atmosférica, el émbolo vuelve a bajar; seguid alternando estas dos operaciones de calentar y dejar enfriar, y el émbolo se moverá en ida y vuelta."

Papin fue el primero que planteó a la presión atmosférica como causa generadora de desplazamientos, asociada con el vacío que se producía como consecuencia del enfriamiento del vapor de agua, poniendo a la luz lo que en su época se llamó "el poder de la nada", y construyó un primitivo motor a vapor basado en la presión atmosférica. Este motor contaba con un único cilindro —que también servía de caldera— y un émbolo; el cilindro, colocado en posición vertical, tenía agua en el fondo que, cuando se calentaba, generaba vapor que elevaba el émbolo. A continuación, se retiraba la fuente de calor y se enfriaba el cilindro, con lo que el vapor se condensaba y se producía un vacío que, al no contrarrestar la presión que la atmósfera ejercía sobre el émbolo, posibilitaba que éste descendiera.



Este motor, si bien muy primitivo y de limitada aplicación, estableció el principio de que se podía utilizar el vapor para mover un émbolo hacia arriba y hacia abajo, en el interior de un cilindro. A continuación se muestra una probable y posiblemente ingenua aplicación práctica de este motor.

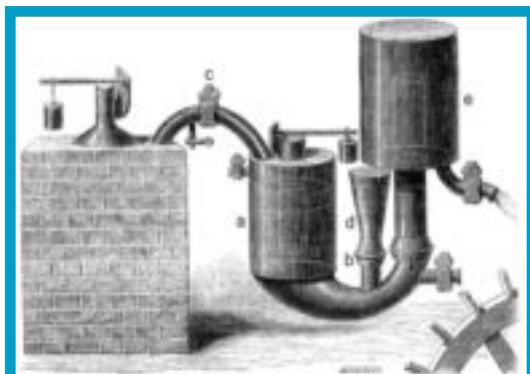


Analizando este motor se llega a la conclusión de que el principio en el que se basa es válido e interesante pero no así la práctica de su funcionamiento; y, en consecuencia, la difícil probabilidad de una aplicación real, sobre todo teniendo en cuenta la pequeña cantidad de agua en juego y la imposibilidad de que se conservara mucho tiempo sin perderse. Años más tarde, Newcomen —posiblemente, basándose en el planteo de Papin— concibió lo que podemos llamar el primer motor de vapor; en este motor, la generación del vapor tenía lugar en una caldera separada del cilindro.

El invento de Papin fue recibido con indiferencia, cuando no con serias críticas, por los científicos de la Sociedad Real de Londres, lo

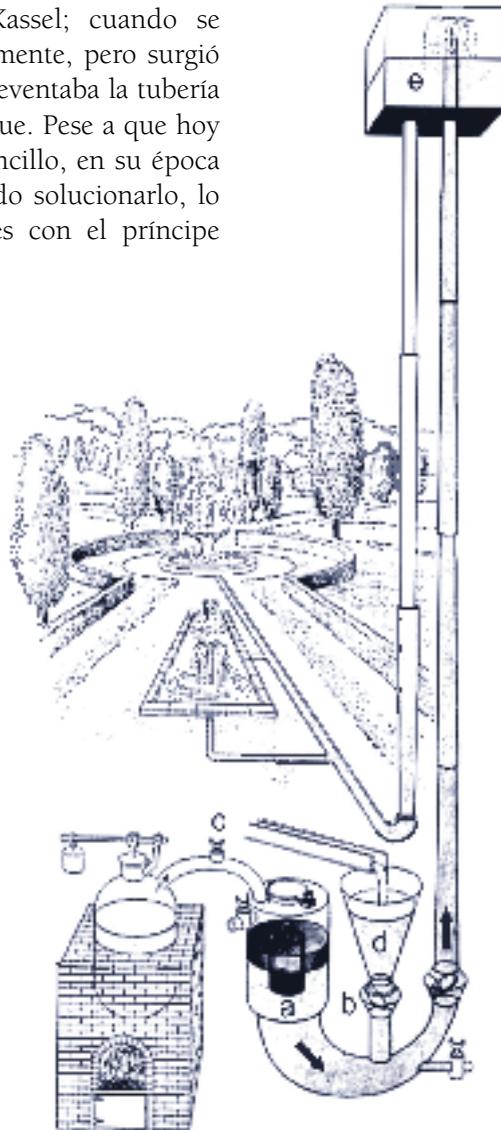
que hizo que desistiera seguir trabajando en esa vía; y, posiblemente influenciado por las experiencias de Savery y los resultados de sus trabajos en ese campo (en unas páginas más nos referimos a ellas), comenzó a concebir otro sistema basado en la presión del vapor y no en su condensación.

Como resultado de sus trabajos publicó en Francfort, en 1707, un pequeño libro titulado *Nueva manera de elevar el agua por la fuerza del fuego*, en el cual describía un dispositivo para elevar agua.



Este dispositivo para elevar agua estaba compuesto de una caldera generadora de vapor conectada a un cilindro (a) lleno de agua, con un flotador que oficiaba de émbolo; el vapor —presionando el flotador y, consecuentemente, el agua— la enviaba a un depósito (e); cuando se vaciaba el cilindro (a) se cerraba la llave (c) que permitía la entrada del vapor, se abría una pequeña llave (b) y se volvía a llenar el cilindro con agua proveniente de un reservorio (d) conectado a una fuente externa, y el ciclo se repetía. Es decir que Papin abandonó su idea capital de utilizar el vapor como medio de lograr un vacío en el cilindro, para adoptar un procedimiento menos ventajoso que consistía en utilizar la presión del vapor para elevar una columna de agua. La imagen es una reproducción exacta del dibujo con el que Papin comienza la narración en su libro; en él se pueden ver las válvulas de seguridad inventada por Papin.

En principio este dispositivo o bomba fue concebido, respondiendo a un pedido del príncipe de Hesse, que quería instalar de los Jardines de Kassel fuentes como las que había en Versalles, lo que requería disponer de un tanque de agua a gran altura. La construcción de esta bomba elevadora de agua demoró un año y fue instalada en una de las torres del castillo de Kassel; cuando se probó, funcionó correctamente, pero surgió un problema: la presión reventaba la tubería de subida de agua al tanque. Pese a que hoy el tema puede parecer sencillo, en su época no lo era y Papin no pudo solucionarlo, lo que agravó sus relaciones con el príncipe —que ya eran tirantes—.



Debido a sus malas relaciones con príncipe de Hesse, Papin decidió dejar Marburgo y establecerse en Londres y planteó un retorno memorable, remontando el Támesis en un barco de ruedas impulsado por un dispositivo a vapor. Si bien, en este caso, el dispositivo no hacía otra cosa que elevar agua, la caída de esta agua podía hacer funcionar una rueda hidráulica que proporcionaba fuerza motriz a unas paletas que actuaban de remos. Posiblemente, el dibujo de su libro, *Nueva manera de elevar el agua por la fuerza del fuego*, corresponda a este dispositivo generador de fuerza motriz.



Imagen tomada del libro *Les merveilles de la science*, de Luis Figuier, 1890

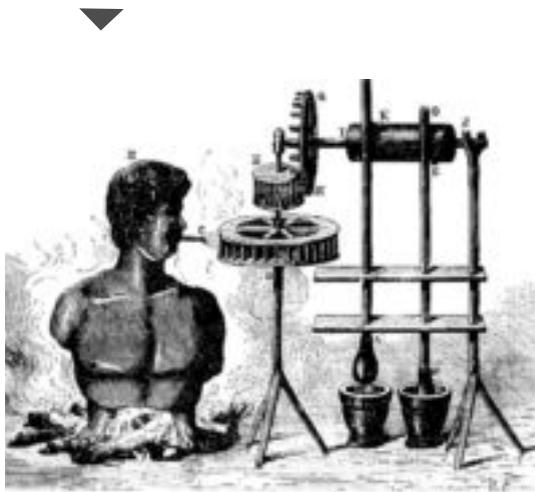
En 1707, año de publicación de su libro, construyó una embarcación movida por un dispositivo de estas características que accionaba una rueda hidráulica vinculada a las paletas que hacían de remo.

Su intención era navegar hasta Inglaterra, para lo cual partió de Kassel (ciudad alemana sobre el río Fulda) y llegó a la ciudad de Minden sobre el río Weser (unión del Werra y del Fulda); allí, los barqueros del Weser no sólo no lo dejaron seguir sino que, el 25 de

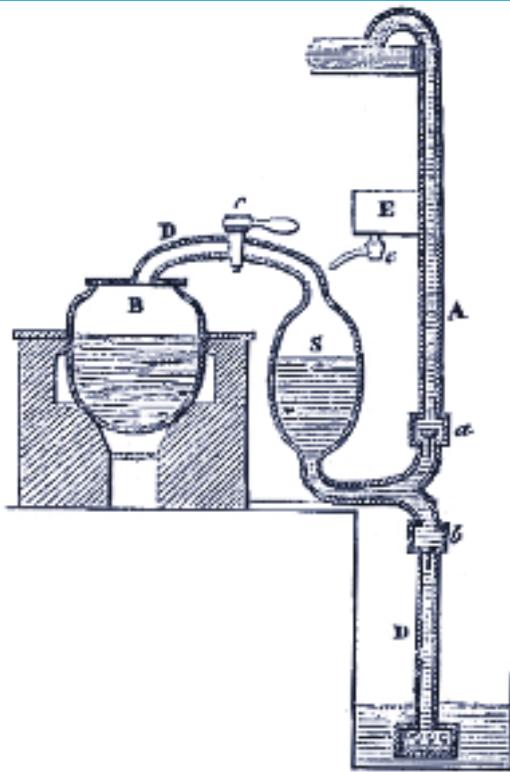
septiembre de 1707, temiendo perder su fuente de trabajo, destrozaron su embarcación.

Después de este traspíe, Papin se radicó definitivamente a Inglaterra, donde débil y enfermo vivió envuelto en una crítica situación económica, muriendo en 1714.

Otro planteo, que no dejó de ser una simple propuesta, fue el de Giovanni Branca (1571-1640) quien, en 1629, presentó un proyecto algo ingenuo de una máquina movida por una turbina de vapor, encargada de triturar el mineral antes de introducirlo en el horno de fundición.



El primero en concretar un planteo viable del uso del vapor con fines prácticos fue Thomas Savery (1650-1715) quien, en 1698, patentó una bomba de agua, que fundamentalmente era un sistema estático para extraer el agua de las minas. A este dispositivo lo llamó "El amigo del minero", habida cuenta que un problema acuciante de la época era la presencia de agua de filtración en las minas, lo que dificultaba su explotación.



Esta bomba El amigo del minero consistía en un recipiente (S) de una capacidad del orden de unos doscientos litros que se llenaba con el vapor proveniente de una caldera (B) en la que se hacía hervir agua. Una vez lleno se interrumpía el paso del vapor, cerrando la llave (c), y se enfriaba el recipiente vertiendo agua en la parte exterior por medio de una canilla (e). Al enfriarse el vapor se producía un vacío y, por efecto de la presión atmosférica, el agua que estaba a un nivel inferior abría la válvula (b), subía y llenaba el vacío que se había producido. A continuación, se abría la llave (c) y se volvía a hacer entrar vapor a presión; éste, actuando sobre el agua del recipiente (S), cerraba la válvula (b) y abría la válvula (a) haciendo subir el agua por el caño (A). Una vez que el recipiente (S) se vaciaba de agua y se llenaba nuevamente de vapor, se cerraba la llave (c), se enfriaba otra vez el recipiente, se producía el vacío y el ciclo se repetía. Normalmente, había dos recipientes (S) y (S1) que actuaban en forma alternativa: mientras uno se enfriaba y recibía agua, el otro se llenaba de vapor y expulsaba el agua para arriba. La distancia entre el agua a bombear y la bomba no debía superar los seis o siete metros (algunas veces, se colocaba más de una, en serie) mientras que, para arriba, podía ser mucho mayor; todo dependía de la presión del vapor aún cuando las técnicas de la época no permitían valores de presión muy altos por peligro de explosión de la caldera (lo que sucedió con frecuencia, con altos costos de vida); por esto, su uso en las minas fue muy relativo, sumado a que pocos años más tarde (1712) apareció la Máquina de vapor de Newcomen (1663-1729) que aventajaba en muchos aspectos a la de Savery; sin embargo esta última, por su relativa sencillez frente a la de Newcomen, mantuvo su utilidad para elevar agua en los edificios, y se la usó a lo largo de todo el siglo XVIII, y aún en el XIX.

La máquina de Newcomen contaba con una caldera donde se generaba vapor, un cilindro y el correspondiente émbolo (o pistón), un brazo o balancín, y dispositivos asociados que posibilitaban su funcionamiento, que podemos resumir así: El vapor entraba al cilindro empujando el émbolo hacia arriba; si bien la presión no era muy grande, el émbolo se desplazaba con facilidad gracias al peso de una barra conectada al émbolo de la bomba. Para tener un buen cierre e impedir escapes de vapor, la parte superior del émbolo estaba revestida de cuero y cubierta con agua. Cuando el émbolo llegaba al límite superior, se cerraba la entrada y se enfriaba el vapor —al principio, rociando con agua el exterior del cilindro, y más tarde, inyectando agua en su interior—. Este enfriamiento del

vapor provocaba su condensación y la generación de un vacío, a consecuencia de lo cual la presión atmosférica —actuando sobre el émbolo hacía que descendiera y, en su descenso, por intermedio del balancín— accionaba la bomba que extraía el agua del fondo de la mina.

En sus comienzos, el accionamiento de las válvulas de admisión del vapor y de la inyección de agua era manual, hasta que un joven llamado Humphry Potter encargado de accionarlas, tuvo la idea de automatizarlas en forma muy primitiva (según la tradición para poder ir a jugar con sus compañeros durante el tiempo en que debía trabajar), más adelante Newcomen introdujo un ingenioso sistema para comandarlas automáticamente.

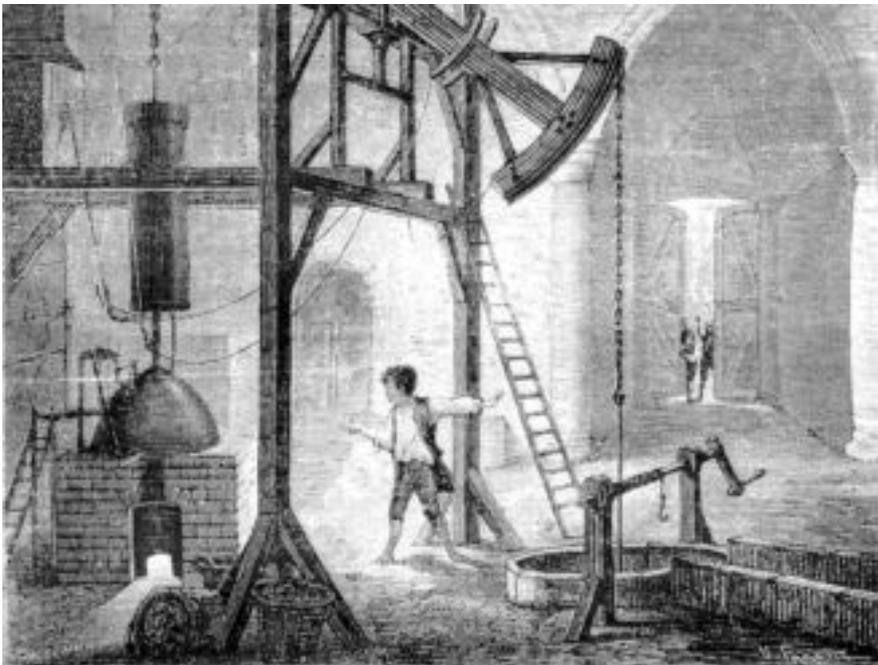


Imagen tomada del libro Les merveilles de la science, de Luis Figuier, 1890

Las máquinas de Newcomen tenían grandes dimensiones; el diámetro del cilindro, en algunos casos, superaba los 500 mm y la altura los dos metros, y el émbolo realizaba hasta 12 o 14 carreras por minuto; su robustez era tal que algunas se siguieron utilizando a lo largo del siglo XIX, pese a que técnicamente habían sido ampliamente superadas por las de Watt.



Máquina de Newcomen

El éxito de estas máquinas atrajo la atención del brillante ingeniero John Smeaton (1724-1792), un hombre con gran sentido práctico, que luego de profundas observaciones y estudios decidió introducirles sustanciales mejoras, fijando con minuciosidad y precisión valores óptimos del diámetro y longitud del cilindro (mayores que los de las máquinas de Newcomen), de la forma y tamaño de la caldera (también mayor), del número de carreras por minuto, etc.; además, diseñó una mandrinadora para mejorar el acabado de los cilindros y evitar pérdidas de vapor. Las máquinas de

Smeaton superaron en eficiencia a las de Newcomen; pero, sus días estaban contados pues, en la misma época, apareció la máquina de Watt que desplazó a todas las existentes hasta la fecha.

Fue el escocés James Watt (1736-1819) quien introdujo modificaciones y mejoras tan importantes en las máquinas de vapor existentes hasta la fecha, que hoy —cuando se habla de las máquinas de vapor— se habla de la máquina de Watt.

James Watt provenía de una familia de fabricantes de instrumentos y, en calidad de tal, entró a trabajar en la Universidad de Glasgow donde se hizo amigo de Joseph Black (1728 - 1799), catedrático de la Universidad, que estaba dedicado a estudios experimentales sobre el calor y, sobre todo, del calor latente⁵ recientemente descubierto. Black le encargó a Watt el arreglo y la puesta en marcha de un modelo de una máquina de Newcomen, modelo que pertenecía al departamento de física de la Universidad. Watt se dedicó a estudiar los problemas de las máquinas térmicas y, fundamentalmente, lo referente a su economía y rendimiento; y, si bien logró poner en marcha el modelo, llegó a la conclusión que se perdía demasiado calor al inyectar agua fría para condensar el vapor y que esto se agravaba por el enfriamiento de las paredes del cilindro, que volvían a calentarse con la entrada del vapor en el nuevo ciclo. Los cálculos le indicaban que sólo un tercio del total del vapor que se

⁵ **Calor latente:** Calor necesario para cambiar el estado de una sustancia (de sólido a líquido o de líquido a gas) sin variación de temperatura. El calor latente puede ser de fusión, de vaporización, de condensación.

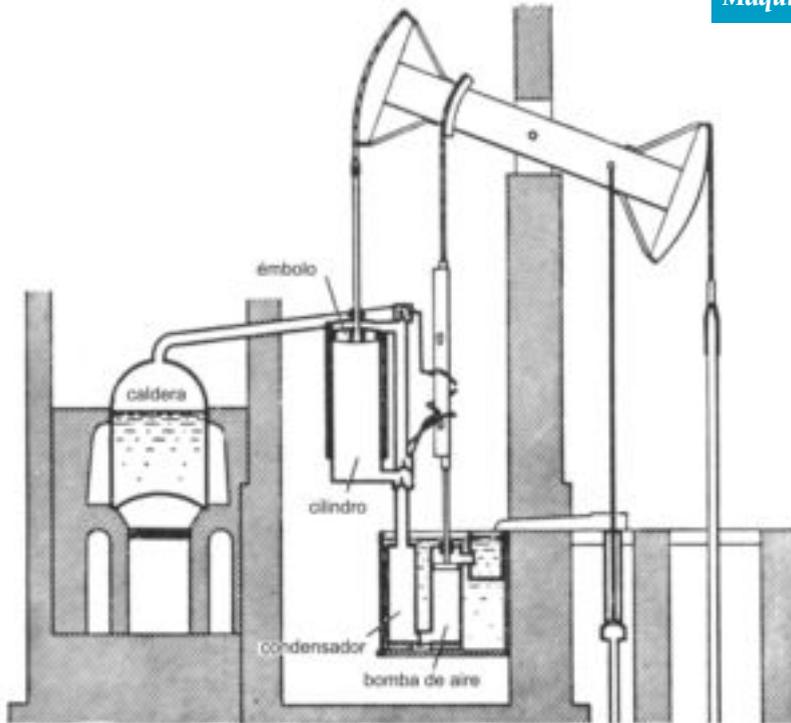
consumía en la máquina era utilizado para lograr el objetivo que se pretendía —que era llenar el cilindro y producir vacío—, por lo que se planteó la idea de condensar el vapor separadamente.

Como resultado de sus análisis, el 5 de enero de 1769, patentó con el título *Nuevo método para disminuir el consumo de vapor y combustible en las máquinas térmicas*, un recipiente separado (el condensador) para condensar el vapor en la carrera descendente del émbolo; este condensador estaba conectado al cilindro mediante un tubo con una válvula. El resultado buscado era mantener el cilindro donde entraba el vapor, a temperatura alta y el condensador a temperatura baja.

Mediante este sistema se podían conservar el cilindro y el émbolo a la temperatura del vapor entrante y reducir en forma considerable la cantidad de agua requerida, pues el calor a eliminar era el calor latente de condensación del vapor consumido. La cámara de condensación separada y refrigerada contaba con una bomba para hacer un vacío, que permitía absorber el vapor del cilindro y llevarlo al condensador. La bomba se utilizaba también para eliminar el agua del condensador.

Desde sus orígenes, la máquina de Watt, que tenía como característica fundamental condensar el vapor fuera del cilindro, demostró una eficiencia muy superior a la de Newcomen.

Máquina de Watt

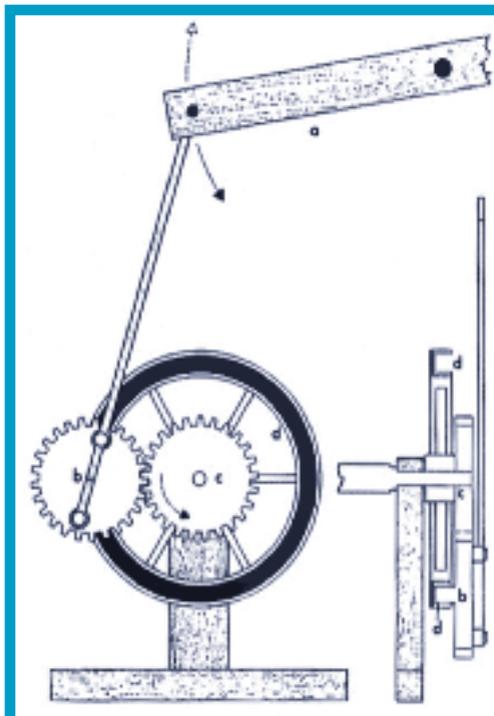


Watt compartió la patente con un industrial, John Roebuck, que financió la construcción de una máquina experimental; pero, antes de probarla, Roebuck se encontró con grandes dificultades económicas y se dispuso a ceder su participación en la patente. Por esto, Watt se vio en la necesidad de buscar otro socio y se puso en contacto con Matthew Boulton (1728-1809), industrial que tenía una fábrica en Soho, cerca de Birmingham, con el que conformó una compañía —Boulton & Watt— que fue la primera del mundo en fabricar máquinas de vapor a escala industrial.

Para conseguir un mejor ajuste entre el cilindro y el émbolo, Watt pidió la colaboración de John Wilkinson (1728-1808), un fabricante de máquinas-herramientas que había perfeccionado la mandrinadora de Smeaton y la utilizaba en la fabricación de cañones,

logrando un notable aumento de precisión.

Si bien las máquinas de vapor se habían desarrollado como respuestas a la necesidad de bombear el agua de las minas, estaban surgiendo nuevos requerimientos de energía mecánica para uso industrial por lo que Watt decidió ampliar el campo de aplicación de sus máquinas y convertir el movimiento de ida y vuelta del émbolo en un movimiento de rotación. Un abusivo patentamiento del sistema biela-manivela (1779) le impedía usarlo, por lo que decidió solucionar el problema (hasta que venciera la patente del sistema biela-manivela) mediante el uso de un sistema epicicloidal (sistema de sol y planeta) que, en 1781, patentó y que instaló en sus máquinas, juntamente con un volante, para lograr una velocidad más uniforme.



Sistema de sol y planeta visto de frente, y en sección transversal

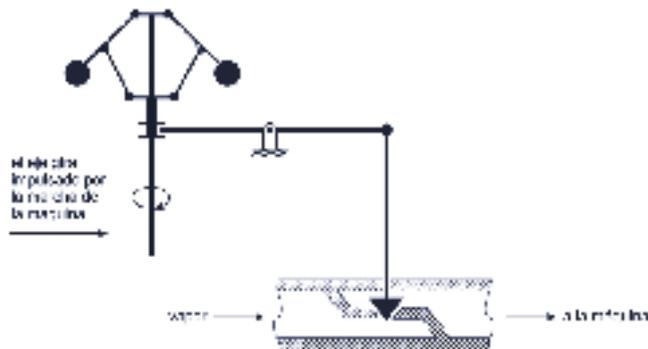
El movimiento alternativo del balancín (a), accionado por el émbolo de la máquina de vapor, se transmite a la rueda dentada fija (b), llamada planeta, que está engranada con otra (c), llamada sol, alrededor de la cual se desplaza, imprimiéndole un movimiento de rotación. En este caso, una guía anular (c) mantiene al planetario en su recorrido alrededor del sol.

Watt siguió introduciendo mejoras. Una de ellas fue que el vapor entrara alternativamente por uno y otro lado del cilindro, empujando al émbolo en ambas direcciones. Inventaba, así, la máquina de doble acción.

Otro notable invento fue el regulador de Watt (regulador de bolas) o gobernador centrífugo. Este sistema —que desarrolló y patentó en 1788, para gobernar las velocidad de las máquinas de vapor— es uno de los primeros sistemas realimentados de control (retroalimentación). El regulador de Watt se basa en la fuerza centrífuga que actúa sobre dos masas, vinculadas a un sistema de palan-

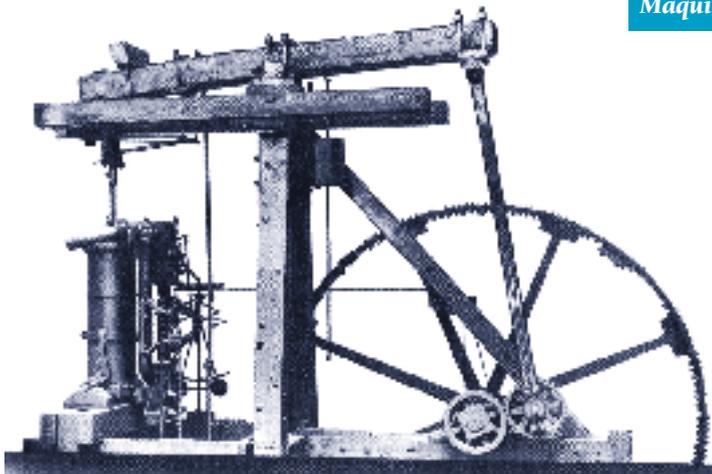
cas, y asociadas a un eje que gira al ritmo de la velocidad de la máquina. La fuerza centrífuga, función de la velocidad de giro, accionando sobre el sistema de palancas regula la entrada de vapor. Esta entrada disminuye cuando la velocidad supera lo establecido y aumenta cuando la velocidad baja.

► No decimos el primero porque, posiblemente, el más antiguo sea el control de la entrada de agua a una cisterna mediante un flotador.



Regulador de Watt

Máquina de Watt



La máquina de vapor, además de ser un importante aporte tecnológico, provocó el surgimiento de la Termodinámica como ciencia, debido a su importancia en el campo industrial y a las preocupaciones que surgieron por su rendimiento. Quien posiblemente fue el primero que se dedicó a investigar científicamente el tema fue Sadi Carnot (París 1796-1832), ingeniero formado en la Escuela Politécnica creada por Napoleón y uno de los mayores genios del siglo XIX, que planteó que, si se desea elevar el arte de producir fuerza motriz a partir del calor a la altura de una ciencia, se debe estudiar todo el fenómeno desde un punto de vista general, sin hacer referencia a un motor, máquina o fluido en particular. Como resultado de sus investigaciones, en 1824, escribió un tratado de 118 páginas titulado *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu* -Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego-. Este trabajo, en el que se planteaban relaciones entre el calor y el trabajo realizado, fue un aporte fundamental para el desarrollo de la incipiente ciencia térmica y —aún utilizando el concepto de calórico— sentó las bases de la Termodinámica.

Las máquinas de Newcomen, pese a haber sido mejoradas por Smeaton, sólo eran rentables para el desagüe de las minas de hulla, donde el carbón era barato, y excepcionalmente se usaban en las minas apartadas de los yacimientos de carbón. En cambio, las máquinas de Watt, más baratas y eficientes, conquistaron su lugar en todas las minas y distritos manufactureros de Inglaterra, y se exportaron a Francia, Rusia y Alemania.

Para publicitar el uso de su máquina, Watt midió en pies-libras por minuto el trabajo

que podía realizar un caballo y expresó el de sus máquinas mediante una nueva magnitud: el caballo de fuerza (*horse power* - HP). La empresa Boulton & Watt, en sus comienzos, ofrecía instalar y poner en servicio sus máquinas libres de costos, cobrando a cambio, como derechos, la tercera parte del ahorro del combustible, tomando como comparación una máquina de Newcomen que cumpliera la misma función o del forraje de los caballos que realizaran el mismo trabajo; pero, luego, redujo el *royalty* a una fórmula basada en el tamaño de la máquina.

En la máquina de Newcomen la cantidad de trabajo realizado difícilmente compensaba el costo del carbón empleado; utilizando caballos se podía realizar, aproximadamente, el mismo trabajo a menor costo.

Durante la vigencia de la patente (veinticinco años, 1775-1800) la firma Boulton & Watt construyó unas 500 máquinas, de las cuales 200 eran bombas extractoras que realizaban las mismas tareas que las máquinas de Newcomen, pero con mayor eficacia, y unas 300 máquinas rotatorias que accionaban árboles de transmisión.

La máquina de Watt sustituyó en forma definitiva las otras fuentes de energía mecánica (los molinos y los animales), señalando el camino a una nueva organización de la producción centrada en la concentración de las actividades en grandes fábricas donde la energía mecánica disponible podía ser ilimitada, y ya no más dependiente de las corrientes de agua o del viento. Otra de las caracte-

terísticas del nuevo sistema fabril era la posibilidad del control de la disciplina de los trabajadores, al estar concentrados en un mismo lugar físico.

Si bien las máquinas, tal cual las concibió Watt, funcionaban correctamente y cumplían su misión, el hecho de ser atmosféricas y de baja presión, las hacía de dimensiones considerables.

Posiblemente por considerar demasiado peligroso el vapor a presión, Watt no planteó máquinas de alta presión.

Fueron Richard Trevithick (1771-1833) en Inglaterra y Oliver Evans (1755-1819) en Estados Unidos los que concibieron y fabricaron —en 1800 y 1802, respectivamente— calderas y máquinas de alta presión. Estas máquinas, de dimensiones mucho más pequeñas, carecían de condensador y dejaban salir el vapor directamente a la atmósfera.

La aplicación del vapor a alta presión a una máquina, no fue tarea fácil; una caldera de alta presión que reuniese las condiciones de seguridad necesarias estaba más allá de las posibilidades de los talleres metalúrgicos de 1800 y, como consecuencia, hubo explosiones de calderas con pérdidas de vidas. En Inglaterra fue Trevithick quien profundizó sus trabajos en el tema y, en 1804, fabricó una locomotora monocilíndrica que funcionó con éxito y marcó los orígenes del ferrocarril como medio de transporte. Para emplear una máquina de vapor como fuente de energía locomotriz se requería que fuera potente, ligera, compacta y de relativo

pequeño tamaño frente a las de Watt. Y las de alta presión cumplían estos requerimientos.

En forma independiente Evans, en los Estados Unidos, también entrevió la posibilidad de usar la máquina de vapor como propulsora de vehículos y se abocó al tema; pero, sus primeras máquinas se aplicaron a impulsar buques o a accionar dispositivos mecánicos (molinos, aserraderos, perforadoras, etc.).

Una de las dificultades que mentalmente se plantearon los constructores de vehículos autopropulsados fue la fricción entre las ruedas motoras y los rieles. Razonaban que, normalmente, las ruedas de un vehículo giran porque éste está tirado por un caballo, pero nada indicaba que invirtiendo el proceso el vehículo podía arrastrar al caballo. Para solucionar esa incógnita, Trevithick y un amigo tomaron un vehículo y, moviendo con la mano los rayos de las ruedas, ensayaron subir cuestas pronunciadas y lo lograron. Sin embargo, la creencia de que las ruedas lisas debían patinar forzosamente sobre rieles también lisos, persistió durante mucho tiempo, planteándose propuestas de solución como superficies ásperas en los rieles, un tercer riel en el que pudiera engranar una rueda dentada colocada en la locomotora, etc. Luego, la realidad demostró que hasta pendientes no muy pronunciadas, no se planteaban problemas.

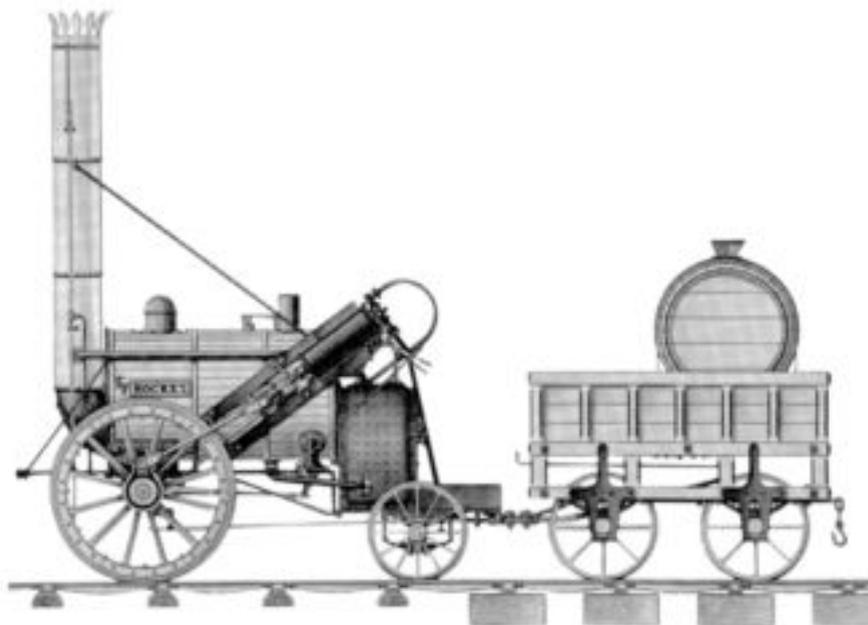
Otro nombre asociado a la locomotora es George Stephenson (1781-1848), que construyó su primera máquina en 1814, aprovechando la experiencia de anteriores constructores, y que siguió trabajando en el tema durante 15 años más, hasta lograr el

reconocimiento de la locomotora como el medio ideal para arrastrar vagones.

Recordemos que en la época, en Inglaterra, se había comenzado a tender vías férreas con vagones para el transporte de cargas (al servicio de minas y/o empresas siderúrgicas); pero, estaba previsto que estos vagones fueran tirados por caballos o, en el mejor de los casos, traccionados por cuerdas accionadas por máquinas de vapor ubicadas cada 2,5 km.

Stephenson, ingeniero civil y consultor en temas de vías férreas, fue el primero que propuso y logró (en 1824) el empleo de locomotoras en estas vías, en la línea Stockton y Darlington. Si bien estas primeras experiencias se desarrollaron con éxito, sus resultados no fueron muy alentadores. En 1826, Stephenson fue nombrado ingeniero en jefe de la compañía ferroviaria *Liverpool and*

Manchester Railway y, pese a que la mayor parte de los directores tendía a favorecer la tracción por cables, avalados por informes de ingenieros contratados para estudiar la situación, el alto costo del sistema hizo que Stephenson lograra que los directores decidieran organizar lo que iba a ser la más famosa contienda en la historia del ferrocarril, "las pruebas de Rainhill" (llamadas así por desarrollarse en los llanos de Rainhill), que tuvieron lugar en octubre de 1829, destinadas a probar y descubrir la locomotora más perfeccionada. Se esperaban unos diez participantes, pero se presentaron sólo tres locomotoras; entre ellas estaba la *Rocket*, presentada por Robert Stephenson (1803-1859) hijo de George, que fue la única que pudo completar la distancia exigida (un tramo de 2,5 km que se debía recorrer 40 veces) y lo hizo a una velocidad promedio de 24 km por hora, ganado un premio de 500 libras.



La compañía quedó tan impresionada por el comportamiento de la Rocket que la adoptó y pasó a Stephenson un pedido de otras siete.

A partir de ese momento se consolida lo que los historiadores llaman "La era del ferrocarril", con Inglaterra a la cabeza.

Tengamos presente que una máquina de Watt, por su peso, su volumen y su complejidad hubiera sido imposible de instalar en un vehículo automotor; para esto hubo que esperar el arribo de máquinas de alta presión.

Pero la máquina a vapor no iba a tener sólo aplicación en el transporte terrestre sino que iba a tener un éxito igual en la navegación. Desde la infortunada barca de Papin, numerosos inventores trataron de aplicar la fuerza motriz del vapor a la marina. Uno de los primeros fue el norteamericano John Fitch (1743-1798) quien, en 1787, en una embarcación de unos 10 metros que navegaba en el río Delaware, instaló una máquina de vapor del tipo de Watt, que había construido conjuntamente con Henry Voight, un relojero de Filadelfia. La máquina impulsaba unas paletas. Fitch demostró que su enfoque respecto al buque de vapor no era quimérico, pero no logró construir una embarcación con aptitud comercial.

Fue un compatriota de Fitch, el estadounidense Robert Fulton quien, por primera vez, en 1807, obtuvo resultados positivos en lo referente a la navegación a vapor. Con su "Clermont", un vapor con ruedas de paletas, hizo un recorrido de 150 millas sobre el río Hudson arriba, entre Nueva York y Albany, en 32 horas. A partir de ese momento, la navegación a vapor hizo rápidos

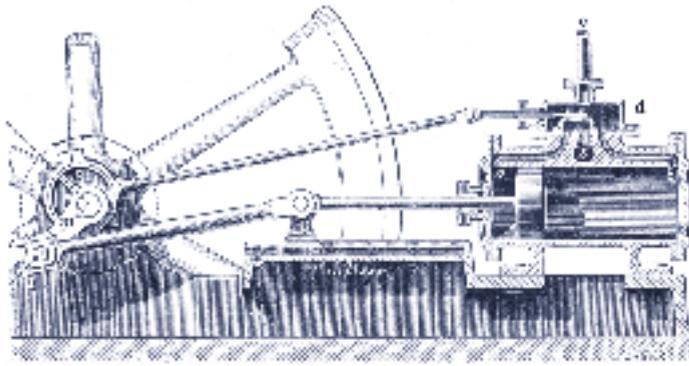
progresos, tanto en EE.UU. como en Europa occidental, hasta provocar la desaparición casi completa de los veleros.

Las mejoras posteriores en la máquina de vapor de alta presión, sobre todo las propulsores de los barcos, incluyeron la introducción de las de expansión múltiple. Las primeras máquinas empleaban el principio de expansión simple, basado en la entrada del vapor en el cilindro y su posterior salida a la atmósfera. Mejorando las calderas y aumentando la presión, se logró que el vapor expulsado de un cilindro accionara otro cilindro de baja presión. De esta forma se incrementaba la eficacia. Máquinas de este tipo, denominadas de expansión doble, fueron sustituidas más tarde por las de expansión triple, dotadas de mayor capacidad. En 1854, se utilizó la primera máquina de expansión doble; y la primera de expansión triple, en 1873.

La máquina de Watt demostró su eficiencia en las más diversas aplicaciones y se convirtió en una verdadera palanca impulsora del progreso y pedestal de la civilización industrial. El siglo XIX fue el del reinado del motor de vapor, que ejerció su influencia no sólo en el campo de la tecnología sino también en gran parte de los ámbitos del quehacer humano; pero, su reinado terminó a fines del siglo XIX con la aparición de las turbinas de vapor y los motores de combustión interna. La máquina de vapor (de movimiento alternativo) fue gradual y definitivamente superada por otros tipos más eficientes, como el motor de combustión interna (tanto en vehículos de transporte terrestre como marítimo) y las turbinas de vapor de gran tamaño.

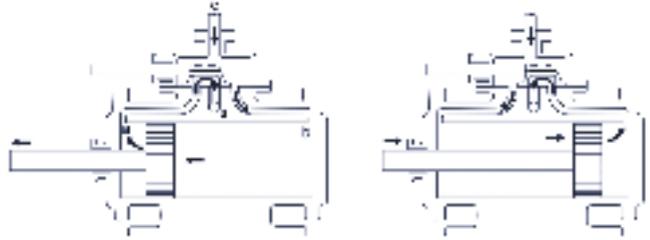
Una máquina de vapor convencional

A continuación, analizamos una máquina de vapor de alta presión y de doble acción, en la que el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo se transforma en movimiento de rotación continuo por mediación de un sistema biela-manivela (m), con la colaboración de una rueda volante que regulariza el movimiento de la máquina gracias a la energía cinética acumulada que permite superar variaciones en los puntos muertos que tienen lugar cuando el émbolo llega a los extremos de su marcha.



En esta máquina, la encargada de orientar la entrada de vapor —alternativamente, a uno u otro lado del cilindro, para lograr la doble acción— es una caja de distribución (d) provista de una corredera que se desplaza (en nuestro dibujo de izquierda a derecha y viceversa) accionada por una rueda excéntrica (p) solidaria al eje de rotación de la máquina. En el grabado, el vapor a presión que llega a la caja de distribución por (e) se dirige por el

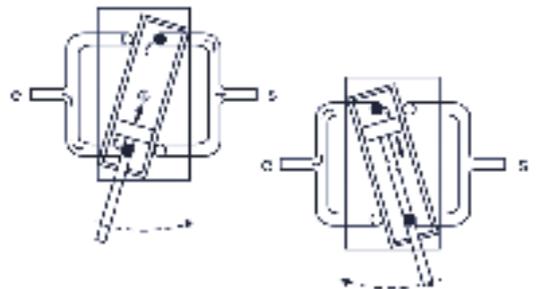
conducto (b) a la zona derecha del cilindro, provocando el desplazamiento del émbolo hacia la izquierda, mientras que el vapor que está a la izquierda del émbolo sale a la atmósfera por el conducto (a) y el orificio (s).



Cuando el émbolo llega al extremo izquierdo de su marcha, la corredera, bajo la acción de la rueda excéntrica, comienza a desplazarse a la derecha y el ciclo se invierte; el vapor entra por (a) y desplaza el émbolo hacia la derecha.

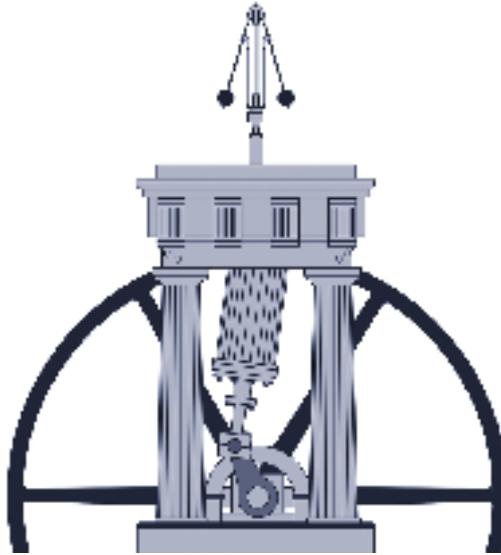
En el caso que terminamos de presentar, el cilindro está fijo; pero, podemos mencionar también otro caso en el que el cilindro oscila y, al oscilar, oficia de distribuidor de vapor, conectando y desconectando las entradas y las salidas del vapor al cilindro. En este

caso, el sistema de distribución es más simple.



A continuación presentamos una máquina de vapor de pistón oscilante (de mitad del siglo XIX); pero, dejamos sentado que este tipo de máquina no fue muy corriente:

Actualmente, las máquinas de vapor de pistón oscilante, por motivo de simplicidad constructiva, se suelen utilizar en modelos de demostración, juguetes, etc.



Mecanismos de transmisión y de transformación de movimientos

Entendemos por **mecanismo** un conjunto de elementos, vinculados entre sí, capaces de transmitir un movimiento o transformarlo en otro, modificando la trayectoria y/o la velocidad.

Los movimientos pueden ser:

- de rotación o
- de traslación.

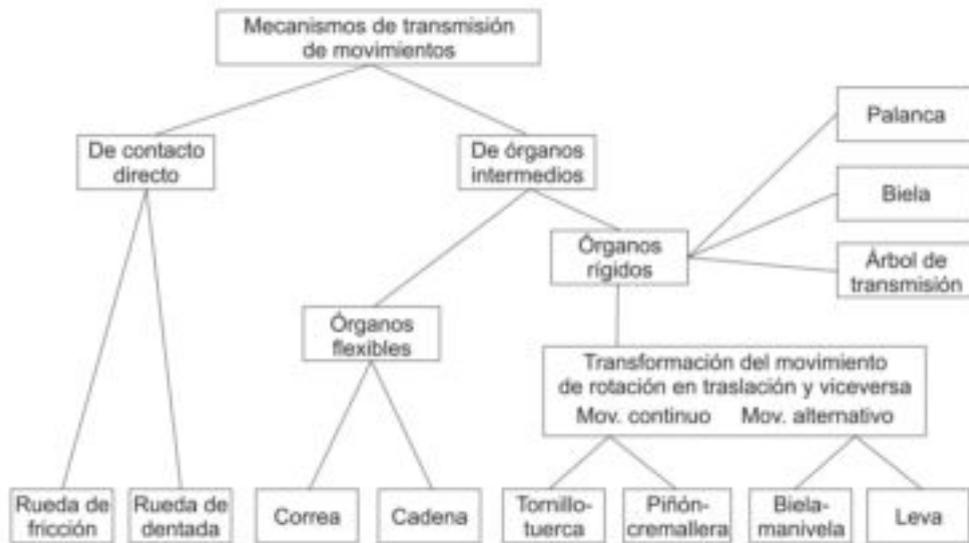
En el **movimiento de rotación**, los diferentes puntos del cuerpo que se mueve describen circunferencias cuyos centros se encuentran sobre una recta fija llamada árbol o eje de rotación. Los movimientos de rotación generan trayectorias circulares (excepto en el eje

de rotación).

En el **movimiento de traslación**, los diferentes puntos del cuerpo que se mueve describen trayectorias paralelas entre sí y de igual longitud. Los movimientos de traslación generan trayectorias lineales.

Mecanismos de transmisión de movimientos

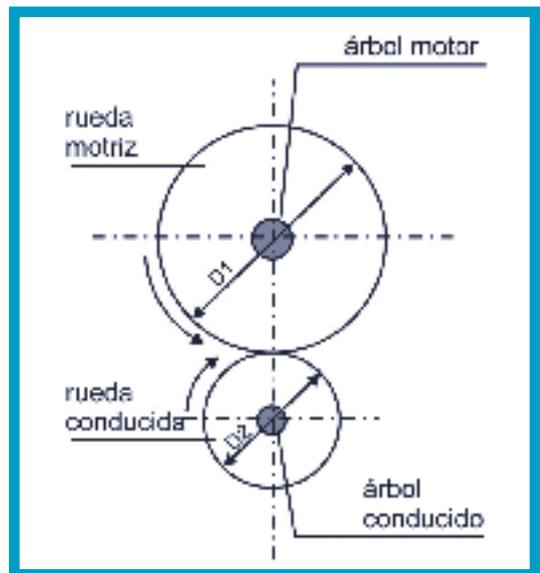
Los mecanismos de transmisión de movimientos pueden clasificarse en: de contacto directo o por órganos intermedios, flexibles o rígidos. En el siguiente gráfico se indican algunos de ellos:



A continuación presentamos algunos de los mecanismos de transmisión de movimiento y sus características más importantes.

a. Transmisión mediante contacto directo

Ruedas de fricción. Las ruedas de fricción son ruedas lisas (sin dientes) en contacto directo, una con otra, que utilizan la fricción que tiene lugar en la superficie de contacto para transmitir la potencia presente en una de ellas (la rueda conductora o motriz) a la otra (la rueda conducida). Es un sistema sencillo y silencioso pero limitado en cuanto a la fuerza que se puede transmitir (no más de 5 a 10 HP), debido al efecto de deslizamiento que puede producirse en la superficie de contacto de las dos ruedas; para evitarlo, las ruedas están presionadas una contra otra con una cierta fuerza y una de ellas suele estar recubierta de un material que dificulta el deslizamiento. Cabe señalar que las dos ruedas giran en sentido contrario.

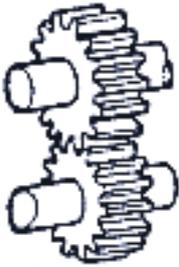


La relación de los números de giros de cada rueda (relación de transmisión = T) es inversamente proporcional a la relación de sus diámetros. Si n_1 es el número de giro de una rueda D_1 , y n_2 el número de giro de una rueda D_2 , la relación será:

$$T = \frac{n_2}{n_1}$$

$$T = \frac{D_1}{D_2}$$

Ruedas dentadas. Engranajes. Con el objeto de evitar el deslizamiento -además de reducir la presión entre las ruedas- y poder transmitir potencias sin límites y sin problemas de deslizamiento, se usan las ruedas dentadas; o sea, ruedas provistas, a intervalos regulares, de vanos y salientes llamados dientes.



Dos ruedas dentadas engranadas entre sí constituyen un mecanismo elemental llamado engranaje.

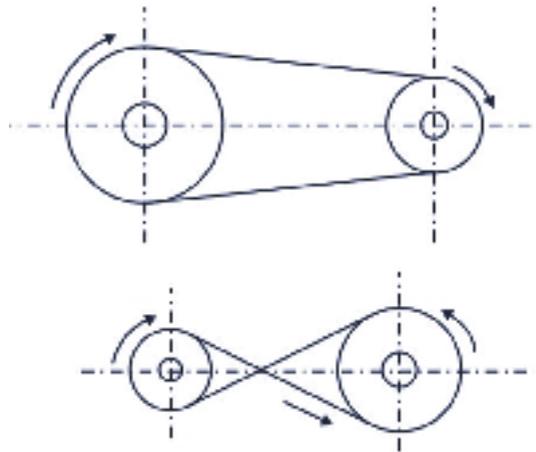
Una de las ruedas dentadas, la rueda conductora, transmite (mediante presión sobre los dientes) el movimiento a la otra rueda, la rueda conducida (que gira en sentido contrario). El número de giro de las ruedas es inversamente proporcional al número de dientes. Como en el caso de las ruedas de fricción, hablamos también aquí de **relación de transmisión**; es decir, de la relación entre el número de vueltas de la rueda conducida (n_2) y el número de vueltas de la rueda conductora (n_1); en otras palabras, variando el diámetro de las ruedas se puede aumentar o

disminuir la velocidad del movimiento a transmitir al sistema. La menor de las ruedas dentadas de un engranaje suele llamarse piñón.

Las ruedas dentadas tienen múltiples aplicaciones y están presentes en casi todas las máquinas mecánicas construidas por el hombre.

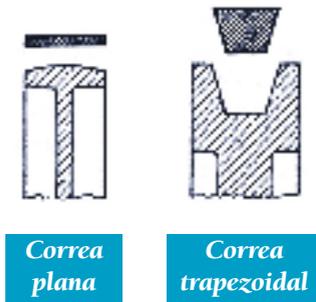
b. Transmisión mediante órganos intermedios flexibles

Correas y cadenas. Cuando el árbol conductor o motor y el árbol conducido están a una cierta distancia que no favorece el uso de ruedas de contacto directo, se suelen usar órganos flexibles como correas o cadenas.



Las correas se caracterizan por ser silenciosas y no requerir lubricación; pero, presentan el problema de que no permiten transmitir grandes potencias, debido al deslizamiento en la superficie de contacto de la correa con las poleas (nombre con el que se conocen las

ruedas sobre las que se apoya la correa). Para disminuir el deslizamiento, en vez de usar correas planas, se usan correas de sección circular o trapezoidal (de tela y/o goma); en este caso, la polea tiene una cavidad en la que va alojada la correa. Aplicaciones de este tipo de transmisión pueden ser encontradas en las máquinas de coser, en las máquinas de lavar y, en el caso del automóvil, en el accionamiento del ventilador del motor y de la dinamo.



A diferencia de las ruedas de fricción y los engranajes, en este caso las dos poleas vinculadas mediante la correa giran en el mismo sentido. Si se quiere que giren en sentido contrario es necesario cruzar la correa.

Cuando se quiere evitar totalmente el deslizamiento, se utilizan cadenas acopladas a ruedas dentadas. En este caso, las cadenas son de características especiales. Un ejemplo típico del uso de este tipo de transmisión es la cadena de la bicicleta. Las cadenas requieren lubricación, las correas —como hemos dicho— no.

c. Transmisión mediante órganos intermedios rígidos

Palanca. Barra rígida que tiene un punto de

apoyo (fulcro) sobre el cual puede bascular, de forma tal que una fuerza aplicada en un punto pueda ser transmitida y aplicada desde otro punto de la barra.

Biela. Pieza o barra rígida que transmite las fuerzas desde un órgano a otro (un caso particular es la aplicación en el sistema biela-manivela que veremos más adelante).

Árbol de transmisión. En mecánica, se llama eje a una barra, varilla o pieza similar que sirve de sostén a un cuerpo giratorio. Cuando la barra se utiliza para comunicar un movimiento de rotación de un elemento mecánico o pieza a otro, en vez de eje en general se llama árbol (ejemplo: el árbol de levas, el árbol de transmisión, etc.).

Mecanismos de transformación de movimientos

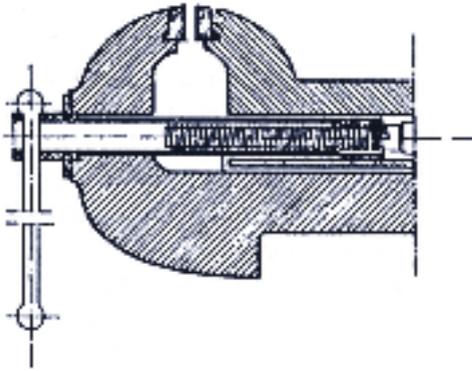
En muchos casos es necesario:

- transformar un movimiento de rotación en otro de traslación o viceversa; o
- transformar un movimiento de rotación continuo en un movimiento de traslación alternativo o viceversa.

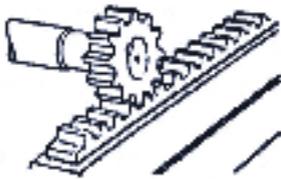
En el primer caso, tenemos el tornillo común y la tuerca, el piñón y la cremallera, etc. En el segundo caso tenemos la biela-manivela, la leva (árbol de leva), el excéntrico.

a. Transformación de un movimiento de rotación en otro de traslación o viceversa

Sistema tornillo-tuerca. Un sistema compuesto de tornillo y tuerca sirve no sólo como elemento de unión para fijar entre sí dos piezas sino, también, como dispositivo para transformar un movimiento de rotación en uno rectilíneo de traslación, con la consiguiente ganancia en cuanto a la fuerza final obtenida (la morsa de banco).



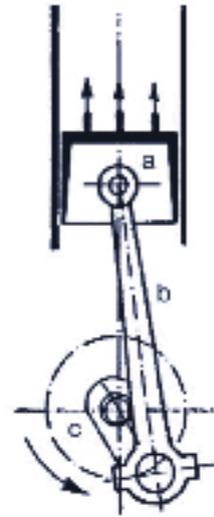
Sistema piñón-cremallera. Órgano mecánico constituido por una barra dentada en la cual engrana un piñón que permite transformar un movimiento de rotación en uno de traslación y viceversa (ejemplo: la cremallera de la dirección de un automóvil asociada al volante de éste).



b. Transformación de un movimiento de rotación continuo en un movimiento de traslación alternativo o viceversa

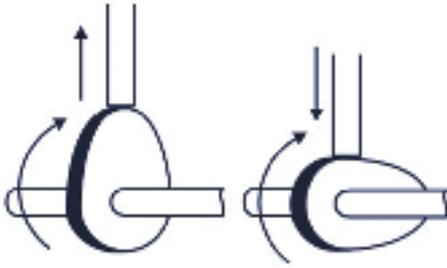
Mecanismo biela-manivela. Mecanismo compuesto de una manivela que gira solidaria con un árbol motor y vinculada a ésta una biela, cuyo otro extremo describe un

movimiento de vaivén. Este mecanismo tiene aplicaciones en: motores de combustión interna, máquinas de vapor, compresores, máquinas de coser a pedal, etc. Las máquinas de vapor transforman el movimiento rectilíneo de vaivén del émbolo en movimiento de rotación del árbol motor. Por el contrario, los compresores a pistón transforman el movimiento de rotación del árbol motor en movimiento rectilíneo de vaivén del pistón del compresor.

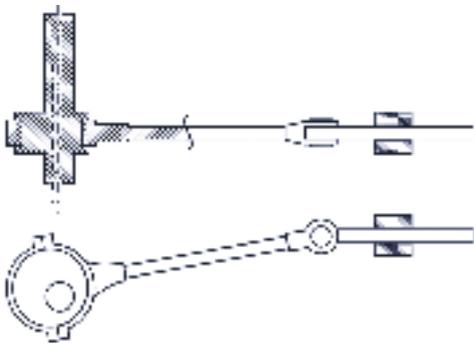


Leva. Disco giratorio de diámetro irregular, es decir de perfil variable, sobre cuyo borde se apoya un elemento que puede desplazarse. Este dispositivo permite transformar el movimiento de rotación de la leva en un movimiento de vaivén del elemento apoyado. La leva está normalmente asociada a lo que se llama el árbol de leva. El árbol de leva es un dispositivo cuyo origen se remonta a Herón de Alejandría, y fue ampliamente utilizado en el medievo para mover fuelles de fragua, martillos pilón, etc. Actualmente sigue teniendo un gran campo de aplica-

ciones; por ejemplo, en los temporizadores electromecánicos, en los motores de combustión interna (árbol de levas), etc.



Excéntrico. Dispositivo compuesto de una pieza circular (rueda excéntrica) solidaria a un eje, pero cuyo centro no coincide con el centro de giro del eje (de allí el nombre de excéntrica), y en cuyo contorno normalmente hay una garganta donde encaja un collar que la rodea por completo y que puede girar libremente; fijo a este collar hay un vástago, cuya imaginaria prolongación pasaría por el centro de la rueda excéntrica.



Cuando el eje gira, este vástago se mueve y su extremo opuesto al solidario al collar se desplaza en un movimiento de vaivén, recorriendo una distancia igual a dos veces la distancia que separa el centro del eje del centro de la rueda excéntrica. Este dispositivo se utiliza en algunas máquinas de vapor para

accionar una caja de distribución del vapor que va al cilindro.

Rozamiento

Cuando, mediante la aplicación de una fuerza, se busca desplazar, una sobre la otra, dos superficies en contacto, aparecen fuerzas tangenciales llamadas **fuerzas de rozamiento** que se oponen al desplazamiento; pero, estas fuerzas son limitadas y, si la fuerza aplicada es suficientemente grande, no impiden el movimiento.

Para hacer que un cuerpo se deslice sobre otro, es necesario vencer la inercia y el **rozamiento** o **fricción**.



Se llama **rozamiento** la resistencia que se opone al deslizamiento, o a la rodadura, de la superficie de un cuerpo sobre la de otro (o al movimiento de éste en un medio fluido -gaseoso o líquido, aire, agua, aceite, etc.-).

Si lo que interesa es aprovechar al máximo la fuerza aplicada, esta resistencia es un fenómeno perjudicial.

Sin embargo, en muchos casos puede ser utilizada positivamente, como por ejemplo en los embragues a fricción de los automotores, en las ruedas de fricción, etc.

Recordemos que las palabras **fricción** y **rozamiento** tienen, prácticamente, el mismo significado.

Un ejemplo interesante de señalar en cuanto a los aspectos positivos de este fenómeno, es el rozamiento de los neumáticos de las ruedas de los vehículos con el suelo sobre el que están apoyadas. Si no hubiera rozamiento, las ruedas girarían libremente sin agarrarse al suelo y el vehículo no se movería. El rozamiento o fricción es lo que permite el desplazamiento. La fricción entre las ruedas y el piso convierte toda la energía mecánica que llega a las ruedas en energía térmica.

Al respecto del tema de la fricción, es interesante preguntarse por qué podemos escribir con un bolígrafo sobre una hoja de papel y no sobre el vidrio. Es que, en este último caso, prácticamente no hay fricción y la bolita no gira.

Otro ejemplo de la utilidad del rozamiento o fricción son los frenos de fricción de los vehículos automotores, en los que zapatas vinculadas a la estructura del vehículo rozan sobre partes móviles (por ejemplo, los tambores de las ruedas), generando una fricción que provoca la reducción de la marcha del vehículo o su detención.

El rozamiento es una fuerza que siempre está presente en los cuerpos o elementos en movimiento, provocando una disminución de la energía cinética, que se manifiesta bajo la forma de calentamiento de las superficies en contacto. Este problema es conocido desde hace muchos siglos, como lo demuestra el engrasado —que, prácticamente, desde la remota antigüedad, se efectúa en los bujes de los carros y, en general, en los ejes en movimiento— o la construcción de caminos buscando reducir los obstáculos y el roce.

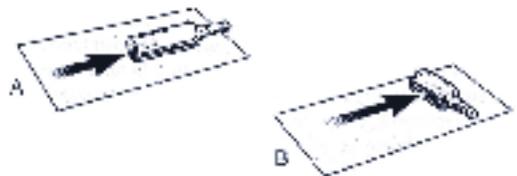
Cuando hablamos de rozamiento debemos distinguir el rozamiento estático del rozamiento cinético.

- El **rozamiento estático** evita el movimiento.
- El **rozamiento cinético** (deslizamiento o rodadura) dificulta el movimiento.

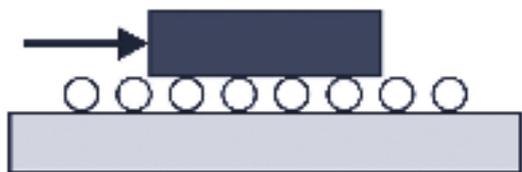
El **rozamiento cinético** puede ser:

- Rozamiento **por deslizamiento** (rozamiento de deslizamiento), que tiene lugar cuando un cuerpo se desliza sobre otro.
- Rozamiento **por rodadura**, que tiene lugar cuando un cuerpo rueda sobre la superficie de otro. Corrientemente el rozamiento por rodadura va acompañado de rozamiento por deslizamiento.

La diferencia del esfuerzo requerido para desplazar un cuerpo en un caso y en el otro puede verificarse fácilmente mediante el siguiente experimento: Tomamos una botella y la colocamos horizontalmente sobre una mesa; si la queremos desplazar empujándola por la base —como en la figura A—, constatamos que se requiere mucho más esfuerzo que empujándola por una generatriz —como en la figura B—; en el primer caso tenemos deslizamiento, en el segundo rodadura.



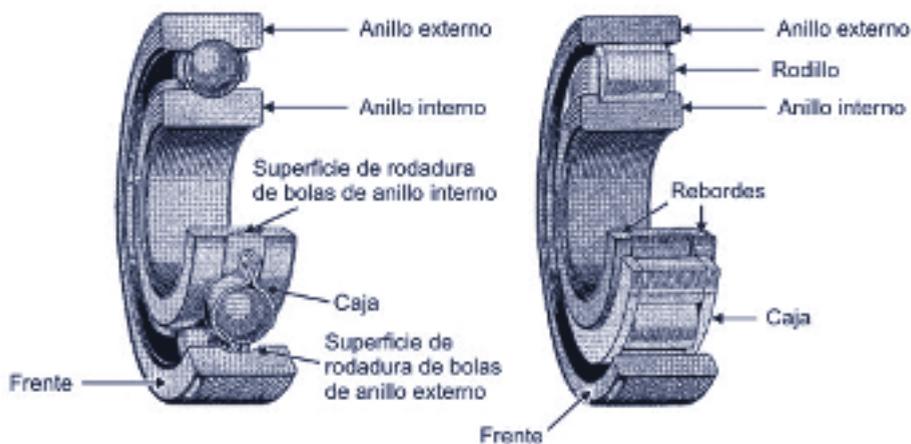
Para transformar el rozamiento por deslizamiento en rozamiento por rodadura se emplean cojinetes de rodillos o de bolas (rodillos de madera, en algunos molinos de viento allá por el siglo XIV, aproximadamente). Estos cojinetes, llamados *rodamientos* (en francés *roulements*), disminuyen la fricción; para entender su importancia y su funcionamiento, podemos imaginar la diferencia entre el esfuerzo requerido para desplazar un cuerpo sobre una superficie lisa y el requerido cuando interponemos entre el cuerpo y la superficie una serie de rodillos que, al rodar sobre la superficie de apoyo, facilitan el movimiento -como era corriente en la antigüedad para desplazar los grandes bloques que se usaban en las construcciones-.



El principio de los rodamientos es el mismo; solamente que la superficie sobre la que se desplazan los rodillos o las bolas es circular.

Para visualizar la ventaja de transformar el rozamiento por deslizamiento en rozamiento por rodadura, se puede hacer la siguiente demostración: Se coloca un libro sobre una mesa o una tabla. Levantando la mesa o la tabla, se constata que hasta no llegar a un determinado ángulo de inclinación el libro no se mueve, debido al rozamiento estático que impide el movimiento. Cuando se supera este ángulo, el libro se mueve; pero, este movimiento se ve dificultado por el rozamiento de deslizamiento. Si la misma demostración se efectúa colocando debajo del libro una serie de lápices cilíndricos en paralelo y paralelos al eje de inclinación de la mesa o de la tabla, se constata que el libro se desliza con un ángulo de inclinación de la mesa o la tabla mucho menor.

Hemos comentado que la fricción normal (no intencional) entre piezas en movimiento provoca una disminución de la energía disponible y, consecuentemente, de la fuerza que motoriza el movimiento. La fricción puede llegar a ser tal que la fuerza disponible no alcance a vencer la fuerza de rozamiento y el movimiento no se produzca.



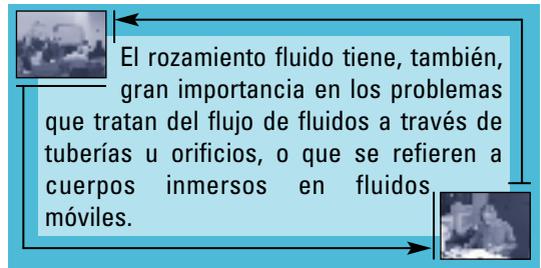
Rozamiento directo, y rozamiento indirecto o hidrodinámico

El rozamiento puede ser:

- **Directo**, es decir sin la interposición de ningún elemento entre las superficies en contacto.
- **Indirecto** o **hidrodinámico**, cuando las superficies de contacto de los dos cuerpos están separadas por una película de lubricante (aceite o grasa).

Cuando dos superficies rozan en seco, es decir sin ningún elemento entre ellas, se dice que hay **rozamiento seco** o **sólido**; en estas condiciones el roce y el desgaste son máximos.

Cuando se introduce entre las superficies una capa de lubricante (aceite o grasa, mineral, sintético, vegetal o animal) de suficiente espesor, el roce no se produce entre las superficies sólidas, sino entre las moléculas del lubricante. Estamos en presencia de lo que se llama **rozamiento fluido** o **líquido**; en estas condiciones, el desgaste es menor.



3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

La máquina de vapor que presentamos es un modelo que ha sido concebido con fines didácticos tanto desde la óptica constructiva, como en lo demostrativo de su funcionamiento, por lo que nos decidimos por una alternativa de concepción y realización sencilla, optando por una máquina de cilindro oscilante.

El producto

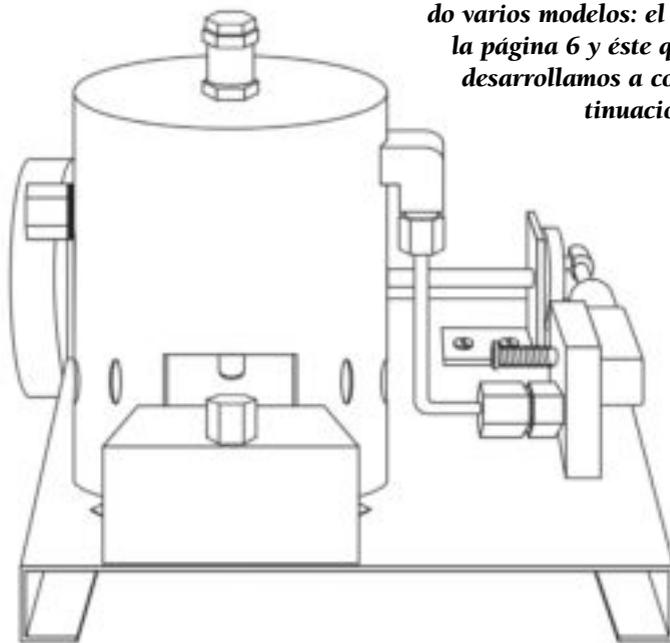
La máquina de vapor propuesta consta de tres partes activas y una base de sustentación.

1. La caldera.
2. El motor.
3. El eje (o árbol) de transmisión, con polea y volante.
4. La base de sustentación

Sus dimensiones son: 135 mm de altura, 145 mm de ancho y 160 mm de largo

La caldera transforma el calor suministrado (resultado de la conversión de la energía química del combustible en energía térmica) en vapor de agua (energía térmica); el motor convierte la energía

Las medidas de la caldera de la máquina de vapor corresponden a las que consideramos más eficientes, pero no excluye que puedan adaptarse a los materiales de que se dispone; por ejemplo nosotros hemos realizado varios modelos: el de la página 6 y éste que desarrollamos a continuación.

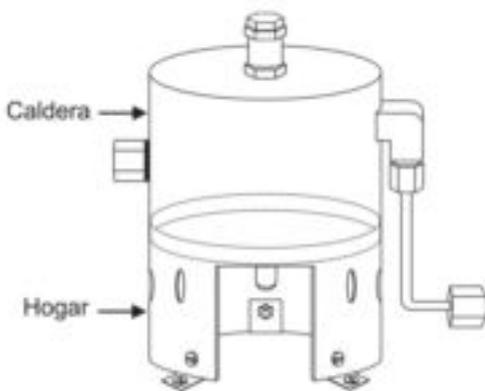


térmica del vapor en energía mecánica de rotación; y el eje (o árbol) de transmisión lleva la energía mecánica, producida por el motor, a la polea y al volante, lo que garantiza la estabilidad del movimiento de rotación.

Los componentes

1. La caldera

La caldera consiste en un tubo de latón (de 1 mm de espesor) de 80 mm de diámetro y 90 mm de alto, que tiene en su interior una separación horizontal que lo divide en dos volúmenes, uno superior que oficia de caldera propiamente dicha y otro inferior que sirve de hogar (lugar donde está la lumbre que hierve el agua y genera el vapor). La separación horizontal es una chapa circular de cobre (0,3 mm de espesor) que, sirviendo de fondo de la caldera, recibe el calor proveniente de la llama de un mechero que se coloca en el hogar.



La caldera (tanque de agua) está herméticamente cerrada en su parte superior por una chapa circular horizontal de latón (0,5 mm

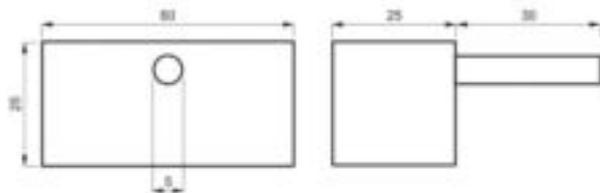
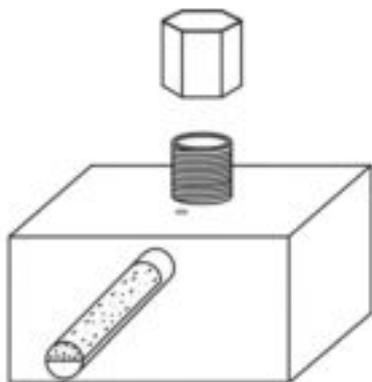
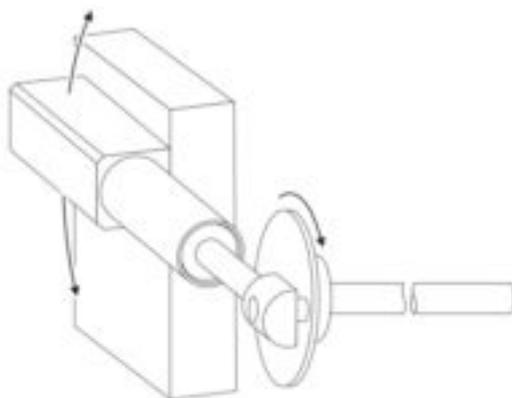
de espesor) que tiene en su centro un tubo cilíndrico, con tapón roscado, por donde se carga el tanque con agua.

Al costado, y en la parte superior de la caldera, hay un codo que la conecta con el motor mediante un caño de cobre, de 1/8" de diámetro, por el que sale el vapor que se genera en la caldera. Del lado opuesto, 12 mm más abajo, hay un pico con tapa que permite limitar el nivel del agua en la caldera, fijando su máximo, para dejar lugar al vapor en su parte superior. Esta tapa se saca cuando se carga el agua —para saber cuándo se llegó al nivel predeterminado— y, luego, se la vuelve a poner.

El hogar cuenta con una gran abertura, que llega hasta la base, por donde se introduce el mechero y otras más pequeñas que están por debajo del fondo de la caldera que permiten lograr una mejor distribución de la llama.



El mechero consiste en un caño rectangular de latón de 25 x 25 mm de sección y 60 mm de largo, cerrado en sus extremos. En la parte superior (25 x 60 mm), cerca de uno de sus extremos, se coloca una tapa roscada por donde se carga el combustible líquido (alcohol). Al lado de la tapa roscada hay una pequeña perforación de ventilación. En la parte lateral (25 x 60 mm), se rosca un pequeño caño de 5 mm de diámetro y 35 mm de largo. El extremo libre de este caño se corta a la mitad, por su eje longitudinal, para alojar la mecha.

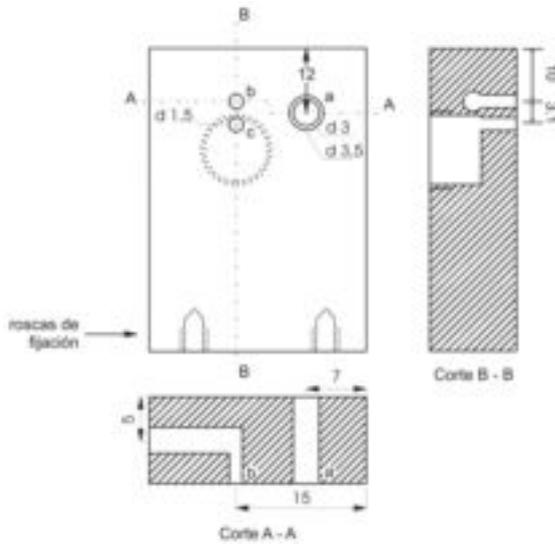


2. El motor

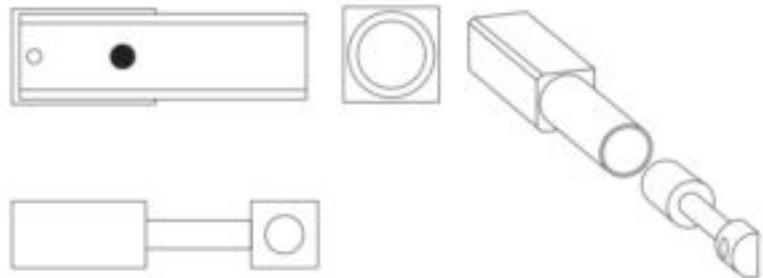
El motor cuenta con tres componentes:

- 2.1. La caja de distribución.
- 2.2. El cilindro oscilante.
- 2.3. El émbolo y el mecanismo biela-manivela.

2.1. La caja de distribución. Consiste en una pequeña pieza de latón (35 mm de alto, 25 mm de ancho y 9 mm de espesor) que tiene dos superficies planas (de 35 x 25 mm) opuestas. Sobre una, que está pulida a espejo, se apoya y se mueve el cilindro; éste, al oscilar, abre y cierra dos perforaciones que permiten la entrada y la salida del vapor al cilindro. En la segunda superficie plana (opuesta) está atornillada una boquilla de unión, conectada al caño de cobre que conduce el vapor de agua. Una perforación de 1,5 mm —que, partiendo de la boquilla de unión atraviesa perpendicularmente, a lo ancho, la caja de distribución— permite que el vapor llegue al cilindro cuando éste está en posición de acción. A muy pequeña distancia, otra perforación permite la evacuación del vapor después que éste ha cumplido su ciclo útil; esta segunda perforación, por razones constructivas, no atraviesa el espesor de la caja de distribución sino que, al llegar a la mitad, gira a 90° y sale por un costado de la caja.



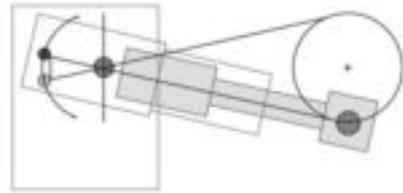
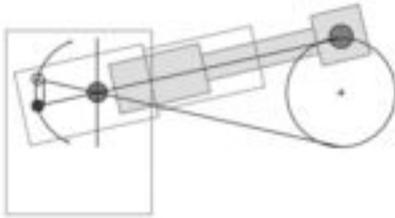
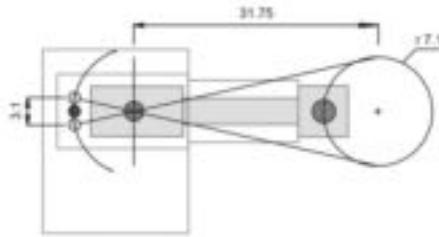
2.2. El cilindro oscilante. Por razones de simplicidad constructiva, tomamos como base una varilla cuadrada de 10 x 10 mm de sección y de 15 mm de largo; a ésta le realizamos una perforación longitudinal que permitió insertar ajustadamente un tubo de latón de 9 mm de diámetro (1 mm de espesor) por 30 mm de largo, que es el cilindro propiamente dicho. La perforación no atraviesa totalmente la varilla cuadrada pues el cilindro tiene que estar cerrado en uno de sus extremos; pero si, por alguna razón, la perforación resultara pasante, se puede cerrar el correspondiente extremo del cilindro con un pequeño círculo torneado que ajuste firmemente.



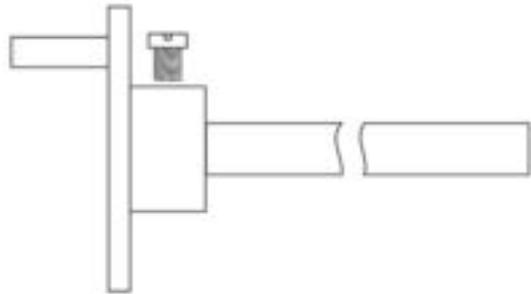
Uno de los lados de la varilla cuadrada —concretamente, el que fricciona sobre la caja de distribución— está pulido a espejo, para reducir la fricción al mínimo y evitar pérdidas de vapor; en el centro de este lado está sólidamente atornillado el eje de oscilación del cilindro, que es de latón de 3 mm de diámetro (la perforación donde va atornillado el eje puede ser pasante, pues al atornillarlo queda cerrada

herméticamente). Este eje se coloca en una perforación, en la caja de distribución, que actúa de buje y que permite la oscilación del cilindro. En el extremo libre de este eje de oscilación hay un resorte y una tuerca que permiten un contacto perfecto entre el cilindro y la caja de distribución.

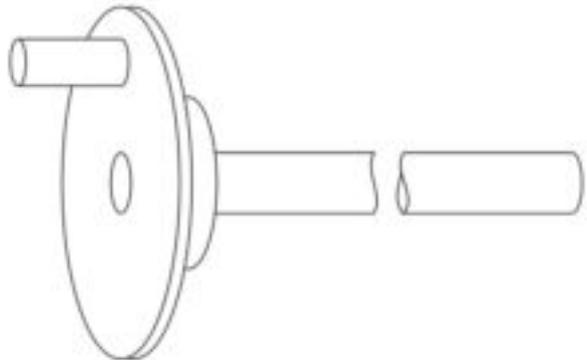
Próximo al fondo del cilindro oscilante y del lado en contacto con la caja de distribución hay una perforación pasante (diámetro 1,5 mm) que permite la entrada y la salida del vapor del cilindro, cuando esta perforación se enfrenta con las correspondientes que hay en la caja de distribución.



2.3. El émbolo y el mecanismo biela-manivela. El émbolo y la biela forman una sola unidad (la pieza émbolo-biela); esto es factible, ya que el cilindro es oscilante. La longitud total de esta pieza es de 32 mm; el émbolo (7 mm de diámetro y 10 mm de longitud) está en uno de los extremos y la biela en el otro.

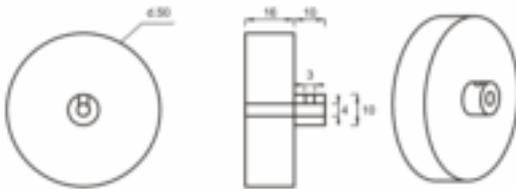


La biela tiene una perforación de 3 mm que sirve de cojinete de biela. Una rueda de 20 mm de diámetro solidaria a un buje con tuerca y fijada a un eje de 4 mm de diámetro, oficia como manivela, pues tiene un pequeño eje (3 mm de diámetro) descentrado a 7 mm con respecto a su eje de giro; este pequeño eje cumple la función de codo de la manivela.



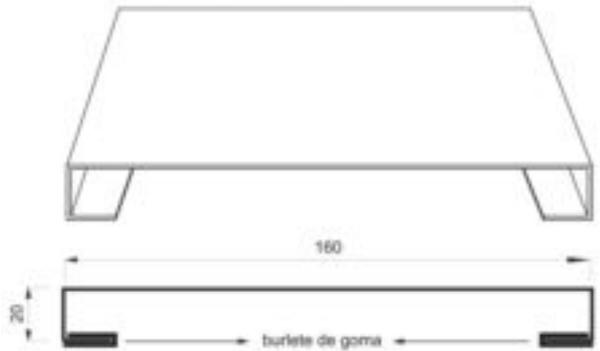
3. El eje (o árbol) de transmisión, con polea y volante

El árbol de transmisión es un eje de 4 mm de diámetro y 140 mm de largo, en uno de cuyos extremos está la rueda manivela que suministra la energía mecánica de rotación; en su otro extremo está el volante que garantiza la estabilidad del movimiento. Tengamos en cuenta que el émbolo actúa sobre la manivela solamente en una mitad de su movimiento mientras que, en la otra mitad, es la inercia del volante la que hace que la máquina continúe andando. Sobre el árbol de transmisión se colocan las poleas, engranajes, etc. que permiten transmitir el movimiento a otros dispositivos.



4. La base de sustentación

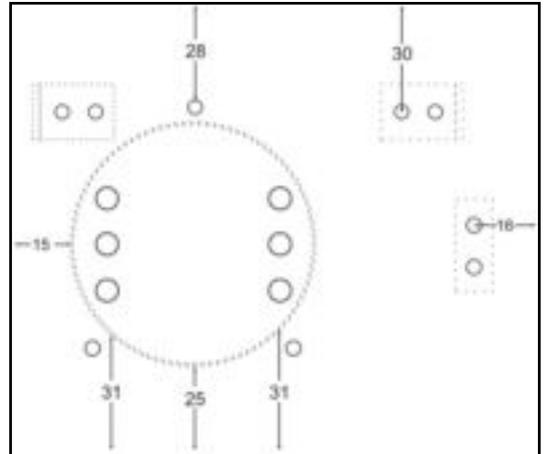
Las tres partes activas de la máquina de vapor se fijan a una base de chapa de hierro (0,3 mm de espesor) de 160 x 120 mm, con un pliegue en U de 10 mm a lo largo de los 120 mm; su fin es aumentar su resistencia a la flexión y contar con una base de apoyo firme.



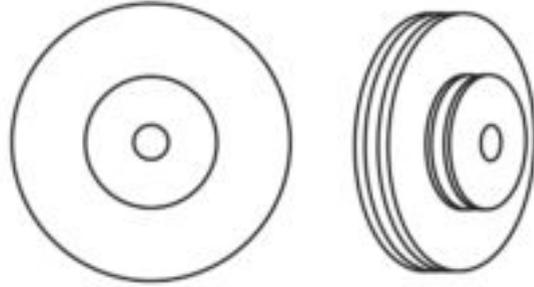
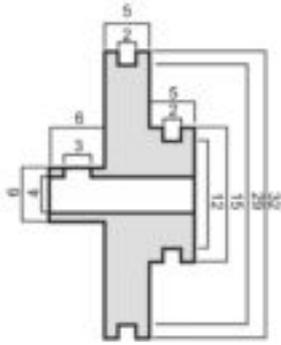
La caldera se fija con tres "L" de chapa atornilladas. Cabe aclarar que, en la superficie de la base por donde se toma la caldera, se realizan perforaciones con el fin de permitir el ingreso de aire para que no se apague la llama del mechero.

La caja de distribución se fija a la base mediante dos perforaciones roscadas.

El árbol motor gira en dos "L" atornilladas a la base que ofician de bujes.



Para transmitir la energía que suministra la máquina de vapor a otros dispositivos, proponemos la construcción de una rueda con poleas como se ilustra en la siguiente figura:



El análisis y la construcción de la máquina de vapor permiten entrar al campo de muchos problemas, tanto científicos como tecnológicos (conversión de energía, cambios de estado, transformación de movimientos, inercia, etc.), trabajar en el aula-taller y, también, despertar la creatividad de los alumnos —que pueden plantear distintas soluciones constructivas—.

Una vez construida la máquina de vapor se pueden imaginar y desarrollar dispositivos y/o elementos asociados —como modelos de pequeñas máquinas de taller— que puedan conectarse mecánicamente con ella .

Dejamos sentado que las dimensiones propuestas están planteadas como referencia; pero, evidentemente, los alumnos y los profesores que vayan a construir esta máquina pueden adaptarla a sus requerimientos y posibilidades.



Los materiales y la construcción

En cuanto al material de los elementos neurálgicos del sistema, nos decidimos por el latón (aleación de cobre y zinc), debido a su facilidad de mecanizado y a su resistencia a la corrosión.

El cuerpo caldera se construye con un tubo de latón de 1 mm de espesor. Los cortes y perforaciones se pueden realizar con sierras y mechas convencionales.

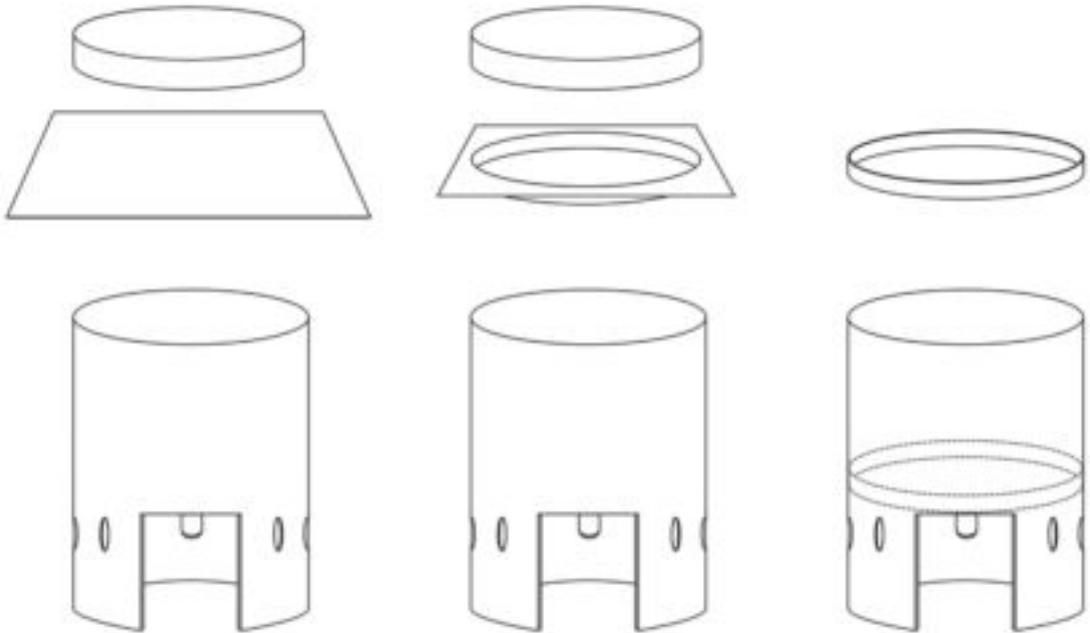
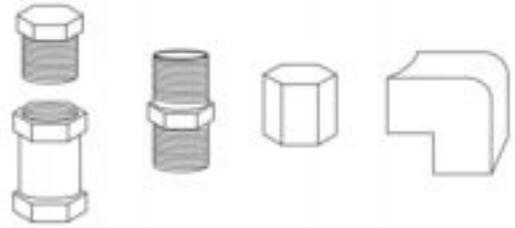
La división que separa los dos volúmenes es una pieza de cobre de 0,3 mm de espesor obtenida por embutición. Para realizar esta operación se busca o se hace (con madera o metal) un elemento cilíndrico de un diámetro un poco inferior al del tubo de latón que se usa como macho, siendo la matriz el tubo de latón que va a ser el cuerpo de la caldera.

La chapa de cobre (de 0,3 mm) se apoya sobre el tubo de latón y se embute con el elemento cilíndrico mencionado. Dada la ductilidad del material, el esfuerzo a aplicar no es muy grande.

Luego, con una tijera, se recorta el sobrante, obteniéndose el fondo de la caldera. Este fondo se introduce en el tubo (con la aleta hacia arriba) hasta la altura requerida y se lo suelda con una aleación plomo-estaño, utilizando un soplete.

Mientras haya agua en la caldera, la soldadura no corre peligro pues el punto de fusión de la aleación eutéctica plomo-estaño (normalmente, del orden 40-60 %) está entre los 183 y 190 °C, y la del agua, si bien está sometida a presión, no supera en mucho los 100 °C.

Las conexiones, tapas, tapones, codo (de latón) y caño (de bronce) se consiguen fácilmente en el mercado minorista.



El cilindro, el émbolo, la manivela, las poleas y el volante de inercia son piezas torneadas; se pueden realizar en las escuelas técnico-profesionales que poseen torno o bien pueden ser llevadas a tornear a un taller especializado.

La base es de chapa de hierro y se puede plegar con una pequeña plegadora, utilizando matrices en madera, prensas y un martillo de goma.

Las "L" se pueden realizar con la misma chapa o bien adquirirlas en una ferretería minorista. Para las "L" que sostienen al árbol motor se recomienda utilizar las de mayor espesor, debido a que las perforaciones por donde pasa el eje cumplen la función de bujes.

Los cortes —tanto de la chapa de bronce co-

mo de la de hierro— se pueden realizar con una tijera para cortar chapa convencional.

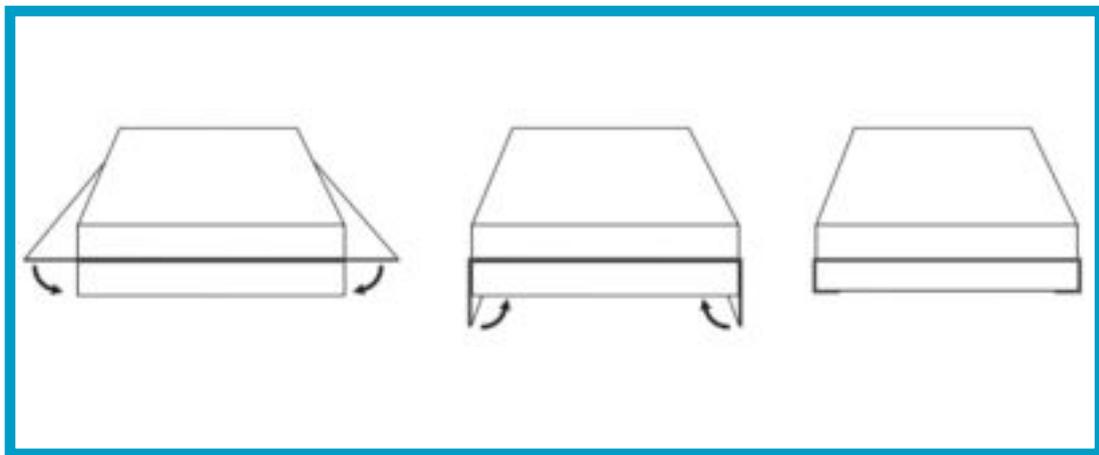
Los tornillos son de 4 mm 0.70 (paso de la rosca).

El eje del árbol motor es de acero trefilado.

Para roscar la caja de distribución y la varilla (que permite oscilar al cilindro) se utilizan un macho y hembra de 3 mm 0.70 de paso. Para las conexiones, optamos por un macho de roscar de 3/8".

Para las conexiones, recomendamos utilizar teflón en las roscas.

Para la tapa y el tapón de la caldera, integramos arandelas siliconadas para alta temperatura, las que garantizan un cierre hermético.



4. EL EQUIPO EN EL AULA

Las actividades escolares vinculadas a la máquina de vapor se pueden enfocar desde diversos puntos de vista; por ejemplo: el histórico, el técnico-constructivo, el técnico-funcional, el socio-cultural. Pero, como planteo general, para que el proceso de enseñanza y de aprendizaje sea un todo coherente que posibilite una formación integral, es interesante abarcar todos los factores en juego, analizando el equipo desde una visión holística.

Para esto, sugerimos que con un enfoque multidisciplinario se analice en forma global el proceso que, partiendo de los requerimientos que generaron el surgimiento de esta máquina, abarque su funcionamiento, los principios científicos y tecnológicos subyacentes, su evolución, su influencia en el desarrollo social y, también, su ocaso, al ser suplantada por otras máquinas de mayor rendimiento, más cómodas, etc.

Sostenemos que, para poder planificar y proyectar el futuro, se debe entender el presente; y que, para entenderlo, se debe saber cómo llegamos a este presente -en otras palabras: conocer el pasado-.

En lo referente al pasado —es decir a una perspectiva histórica de la tecnología— consideramos que es interesante que los contenidos que hemos expuesto en el texto se lleven al aula; pero, no como clases teóricas, sino integrados en un proceso de construc-

ción de conocimientos, teniendo en cuenta que el conocimiento no es algo dado sino que se configura observando, razonando, planteándose preguntas y buscando respuestas.

El desarrollo de la capacidad de observación y de razonamiento es clave en la formación de la personalidad, y el plantearse preguntas es la forma básica de aprender. Quien no pregunta o no se pregunta, no se dispone a la posibilidad de adquisición de nuevos conocimientos.

Preguntarse implica, también, la búsqueda de respuestas en los libros.

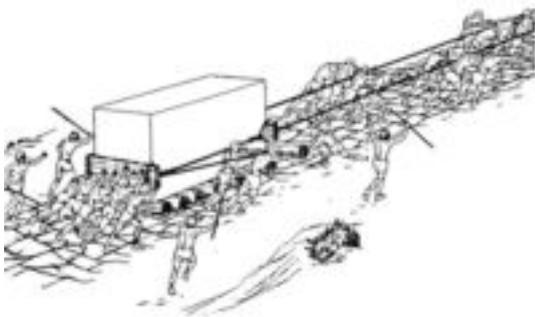
Plantearse preguntas es plantearse problemas cuyas soluciones son las respuestas a las preguntas planteadas. En la búsqueda de estas soluciones se apela tanto a los conocimientos que se tienen, como a los nuevos que es necesario integrar; todo, dentro de un esquema de razonamiento que permita arribar a soluciones coherentes.

El planteo y la resolución de problemas marcan el quehacer cotidiano pues la vida es un eterno y permanente proceso de resolución de problemas. Algunos problemas son muy sencillos y triviales, pero, problemas al fin —como por ejemplo, cuando tenemos que ir a un determinado lugar, ¿qué utilizar? La bicicleta, el auto personal, un taxi o el ómnibus. O, cuando en un restaurante frente a un menú debemos optar, ¿qué comida elegir? La que nos gusta más, la que es más saludable, la que es más barata, etc.—

Otros problemas son más complicados —como, por ejemplo, ¿qué estudios seguir?— y hasta es posible enfrentarse a algunos muy complejos como son los vinculados a estrategias o políticas técnico-sociales —¿qué hacer con desechos contaminantes?—. La escuela tiene la obligación de capacitar a los futuros ciudadanos para que estén en condiciones de enfrentarlos con solvencia; más aún hoy, cuando los problemas, incluso los de la vida cotidiana, han adquirido una complejidad muy grande.

El desarrollo de la capacidad de resolver problemas debe ser uno de los ejes de la formación escolar. En ese campo, la tecnología —en colaboración con la ciencia— desempeña un papel fundamental, pues la misión central de la tecnología es resolver problemas del mundo físico. Y, un caso concreto es la máquina de vapor inventada por Watt: Se necesitaba energía para mover las máquinas que estaban surgiendo en los albores de la Revolución Industrial y Watt resolvió el problema satisfaciendo esa necesidad.

Podríamos comenzar a analizar la máquina de vapor como fuente de energía mecánica, planteando a los estudiantes que el esfuerzo físico humano fue la primera fuente de energía mecánica con que contó el hombre. Enfrentemos a nuestros alumnos con episodios como el imaginado en la siguiente figura:



Seguramente, los alumnos plantearán que el hombre siempre buscó la forma de liberarse de ese esfuerzo; y que lo logró, en parte, cuando aprendió a domesticar y a aparejar a los animales, transfiriéndoles a ellos la realización de determinados trabajos. Sin embargo, los grandes cambios socio-culturales que fueron generando el mundo de hoy tienen su punto de partida cuando el ser humano recurre, como fuentes de energía, no sólo al esfuerzo muscular sino a otras que le proporciona la naturaleza; primero, comenzando por las directamente aprovechables como son las del agua y del viento (los molinos), continuando con las indirectamente aprovechables (conversión de energía química en térmica) como son los combustibles (los motores de combustión externa e interna).

Continuando con este enfoque, desde una óptica socio-técnica-histórica, podemos analizar en clase los molinos: dónde surgieron, su llegada a Europa y su uso generalizado en el medievo, los aspectos mecánicos de su funcionamiento, los de eje vertical y los de eje horizontal (las ruedas hidráulicas), y el desarrollo de una cultura técnica en la Europa de su época por la presencia de esta máquina en la vida cotidiana como algo abierto, a la vista de todos, mostrando sus entrañas los engranajes, los sistemas de transmisión de movimientos, etc.

Esa cultura técnica permitió al hombre europeo poner en juego su creatividad y, así, surgió una serie de ingenios. Entre ellos, la máquina de vapor; al principio, como simple máquina con movimiento de vaivén para el accionamiento de bombas de agua; y, posteriormente, como generadora de energía

mecánica de rotación, lo que permitió aprovecharla para accionar múltiples dispositivos.

La máquina de vapor, al posibilitar la disponibilidad de energía mecánica en cantidades suficientes como para responder a cualquier tipo de requerimiento, permitió la consolidación de ese fenómeno social llamado la Revolución Industrial, que se comienza a gestar cuando, por requerimientos del mercado, se va reemplazando, ya no solamente el esfuerzo físico o muscular, sino la actividad manual del hombre por la máquina. La Revolución Industrial nace en la industria textil y sus orígenes están vinculados a la invención de la hiladora mecánica (para producir hilo) y del telar mecánico, que son de los primeros ejemplos del reemplazo de la actividad manual del hombre por la máquina.

La Revolución Industrial, la segunda gran transformación cualitativa en la vida del hombre —teniendo en cuenta que la primera fue la sedentarización— cambió no sólo el esquema productivo sino, también y como consecuencia, el ritmo de vida de la sociedad humana. Fue una revolución socio-técnico-económica y su símbolo es la máquina de vapor, que la hizo posible.

La introducción del vapor como fuente de energía mecánica marca el comienzo de la sociedad industrial; pero, el progreso tecnológico no se detuvo y la humanidad asistió a la introducción de nuevas fuentes de energía. A finales del siglo XIX irrumpe la electricidad —primero, destinada sobre todo a la iluminación; más tarde, para uso industrial—; luego, el petróleo y los motores de

combustión interna; y, ya en la segunda mitad del siglo XX: la energía atómica. Habrá que ver lo que nos depara el futuro. Tengamos presente que la energía solar aún no está industrialmente aprovechada y que el Sol es la principal fuente de energía de la cual depende toda forma de vida en la Tierra; no olvidemos que el carbón y el petróleo son energía solar acumulada y que la energía de los rayos solares, al evaporar el agua de la superficie terrestre, forma las nubes que, a su vez, provocan las lluvias que alimentan los ríos, los que muchas veces se aprovechan para generar corriente eléctrica.

La irrupción de la electricidad, y del petróleo y los motores de combustión interna, preannuncian el comienzo de la llamada Segunda Revolución Industrial. La primera —que podríamos llamar de la máquina de vapor— marcó el paso de la manufactura a la industria y el nacimiento del capitalismo industrial; además, preparó el camino de las grandes transformaciones que tuvieron lugar durante la Segunda Revolución Industrial, cuyo comienzo no es fácil definir pero que podríamos fijar a finales del siglo XIX. Entre las consecuencias más notorias de esta Segunda Revolución Industrial podemos señalar una revolución en los transportes (terrestres, marítimos y aéreos), en las comunicaciones, en el empleo del tiempo libre, en la producción, etc.; basada en la electricidad y el petróleo, representó el triunfo de la energía eléctrica.

La Segunda Revolución Industrial cierra el ciclo de la máquina de vapor que es reemplazada por las turbinas de vapor o por los motores de combustión interna que tienen mayores rendimientos.

Con la Revolución Industrial comienza la mecanización en gran escala; en sus orígenes estuvo vinculada, fundamentalmente, con las actividades productivas; pero más tarde llegó al hogar y hoy está presente en múltiples actividades, simplificando notablemente la vida familiar.

Posiblemente, hoy estemos asistiendo a una Tercera Revolución; en este caso, científico-tecnológica, en la que lo preponderante no es más la energía sino la información.

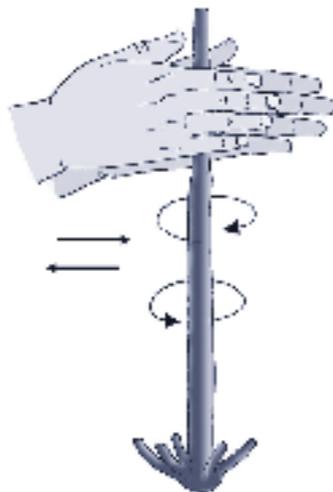
Como hemos visto, la máquina de vapor fue un factor clave en el nacimiento de la sociedad actual. El estudio de su funcionamiento permite abordar temas como, conversión de energía, mecanismos de transformación de movimientos, etc. Así, consideramos interesante centrarnos en su análisis.

Tomando como referencia el modelo de la máquina de vapor —que hemos desarrollado en las páginas precedentes—, podemos comenzar su estudio partiendo del generador de calor (el mechero), en donde el calor (energía térmica) —enfocado desde una óptica energética— es el resultado de la conversión de la energía química del combustible en energía térmica (la ocasión se presta para profundizar sobre las conversiones de energía). Esa energía térmica (producto de la combustión del alcohol) hace hervir el agua con la consecuente producción de vapor, que puede alcanzar un volumen del orden de 1700 veces el volumen de la masa líquida que lo generó; esa tendencia al aumento del volumen, al estar presente en un recipiente cerrado, aumenta la presión dentro del recipiente (aquí, usted puede plantear el caso de

la olla a presión).

La presión del vapor es utilizada para producir trabajo mecánico en el sistema cilindro-émbolo, por lo que resulta interesante observar la mecánica de funcionamiento de este sistema. Podemos partir de los movimientos de translación y de rotación, y de la transformación del movimiento de translación en el de rotación en el sistema émbolo-manivela de la máquina de vapor. El tema puede ampliarse, presentando otros ejemplos, como el del pistón-biela-cigüeñal en los motores de combustión interna; aquí, también se puede indagar en los motores de combustión externa y los de combustión interna; en este último caso, separamos los de explosión (los de gasolina) y los diesel, destacando las características de cada uno.

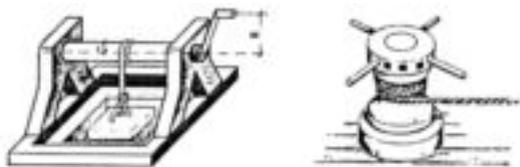
Buscando despertar la imaginación y la creatividad de los alumnos se les puede solicitar que piensen otros ejemplos en donde hay transformación de un movimiento de translación en uno de rotación. A continuación planteamos uno:



Otro ejemplo puede ser el del piolín del trompo:



Invertiendo el proceso, se les puede pedir a los estudiantes que piensen cuándo un movimiento de rotación se puede convertir en uno de traslación. Si no lo vinculan fácilmente para casos particulares como el del tornillo y la tuerca o el del sistema ascensor, usted los puede orientar en la búsqueda. Con respecto a esta conversión (de rotación en traslación) y vinculado al tema de la historia de la máquina de vapor, recordemos que en Inglaterra se había comenzado a tender vías férreas con vagones para el transporte de cargas (al servicio de minas y/o empresas siderúrgicas); pero, estaba previsto que estos vagones fueran tirados por caballos o, en el mejor de los casos, traccionados por cuerdas accionadas por máquinas de vapor ubicadas cada 2,5 km; entonces, aquí, el movimiento de rotación del árbol motor de la máquina de vapor, sobre el que había arrollado la cuerda, se transformaba en movimiento de traslación de la cuerda. Es un caso inverso al del trompo, en el cual el desplazamiento (movimiento de traslación) de la cuerda produce el giro del trompo. Se puede incitar a los alumnos para que busquen otros ejemplos (como son el torno y el cabrestante).

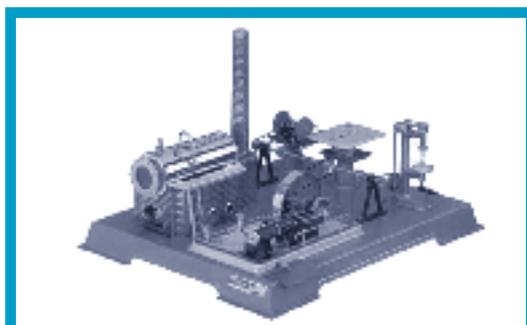


La dimensión técnico-constructiva desarrollada en la tercera parte de este material de capacitación, también abre la posibilidad de interesantes comentarios en el aula.

El objetivo global del planteo desarrollado es, no sólo la adquisición de conocimientos, sino y fundamentalmente despertar en los jóvenes sus capacidades de observación y razonamiento.

Volviendo al pequeño modelo de la máquina de vapor con el que se cuenta y considerando que es una fuente de energía mecánica, se puede aprovechar para accionar algún mecanismo, máquina o dispositivo. Nosotros sugerimos acoplarlo, mediante poleas y una cuerda, a un pequeño motor eléctrico (por ejemplo, el de una casetera o el de un juguete; algunos se consiguen en el mercado) para que funcione no como motor sino, a la inversa, como generador de electricidad para accionar algunos *led*, que también pueden integrar algún modelo que simule una planificación urbanística o una construcción civil.

En el mercado de juguetes se suele encontrar algunas pequeñas máquinas de vapor asociadas a talleres mecánicos o de carpintería; a continuación presentamos un ejemplo.



WileSCO steam engine model kit.
www.wileSCO-steam.co.uk

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–
Oficina 112
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a evcenet@inet.edu.ar, enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

Desde ya, muchas gracias.

Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

- | | |
|--|--|
| 1. Nivel educativo | 5. Documentación |
| 2. Contenidos científicos y tecnológicos | 6. Otras características del recurso didáctico |
| 3. Componentes didácticos | 7. Otras características del material teórico |
| 4. Recurso didáctico | 8. Propuestas o nuevas ideas |

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

Nivel educativo	EGB 2	EGB 3	Polimodal (*)			Escuela técnica (*)						Trayecto técnico-profesional (*)	Formación profesional (*)	Otra (*)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6				
Nivel en el que usted lo utilizó															

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....

(*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.

2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





3. Componentes didácticos:

3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario).....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario):

.....

.....

.....

.....

.....

¹ Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

a. <input type="checkbox"/> Planificación.	b. <input type="checkbox"/> Diseño en dos dimensiones.
c. <input type="checkbox"/> Construcción, armado.	d. <input type="checkbox"/> Ensayo y control.
e. <input type="checkbox"/> Superación de dificultades (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
f. <input type="checkbox"/> Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.).	

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Si	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

<p>a. <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.</p>	<p>b. <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.</p>
<p>c. <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.</p>	<p>d. <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a. Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b. Es más económico.

c. Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d. Es más adaptable (a diversos usos).

e. Otra (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....

.....

.....

.....

.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas):

.....

.....

.....

.....

.....

4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable ⁴	Otro ⁵
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				

⁴NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

⁵Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				



Capacidad de aplicar y transferir	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
s. Interrelacionar los datos, técnicas y procedimientos en el diseño de la solución.				
t. Utilizar técnicas de representación adecuadas al equipo que se construye o en el ya construido que se utiliza.				
u. Integrar los conocimientos científicos y tecnológicos en los momentos pertinentes para el diseño de la solución.				
v. Relacionar, ensamblar componentes en la secuencia adecuada.				
w. Utilizar de manera correcta la simbología y los lenguajes propios de la tecnología (representación gráfica, simbólica, etc.).				
x. Transferir conocimientos científicos y tecnológicos en otras actividades similares.				
y. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				

Otro (Por favor, exprese aquí los comentarios que tenga, identificando el ítem con la letra que corresponda):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):

5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV ⁶	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....

7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB ⁷	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

⁷ Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo



8. Propuestas o nuevas ideas:

Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

a. <input type="checkbox"/> docente a cargo de un grupo de alumnos	b. <input type="checkbox"/> directivo
c. <input type="checkbox"/> responsable de la asignatura:	d. <input type="checkbox"/> lector del material
e. <input type="checkbox"/> otro (especifique):	

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Planificación de las experiencias didácticas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Trabajo con resolución de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for writing the response to the question above.

Títulos en preparación de la serie “**Desarrollo de contenidos**”.

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
 - El aire como materia prima
 - El azufre como materia prima
 - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro

- Colección: **Construcciones**
 - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
 - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento

- Colección: **Telecomunicaciones**
 - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
 - Cálculo de enlaces alámbricos

- Colección: **Materiales**
 - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos

- Colección: **Tecnología en herramientas**
 - Historial de las herramientas de corte
 - Diseño y fabricación de herramientas de corte

- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
 - Instalaciones eléctricas
 - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
 - Familia lógica CMOS



MINISTERIO *de*
EDUCACIÓN
CIENCIA y TECNOLOGÍA
PRESIDENCIA *de la* NACIÓN



Argentina

ineti
*Instituto Nacional de
Educación Tecnológica*