

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE CIENCIAS

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXACTAS Y
NATURALES**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE
LA TERMODINÁMICA EN EL DESARROLLO DE LA MÁQUINA
TÉRMICA Y EL SURGIMIENTO DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL**

**Tesis de Grado para optar al título de
Magíster en Enseñanza de las ciencias exactas y naturales**

Presentado por: Mauricio Jaramillo Suárez

Director: Dr.rer.nat. Román Castañeda

Profesor Titular – Escuela de Física

Medellín, Noviembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín por la implementación del programa de Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, permitiéndome compartir con profesores y compañeros el saber pedagógico.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	2
INTRODUCCIÓN	5
1 APORTES CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE LA MÁQUINA TÉRMICA, IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN HISTÓRICA	8
1.1. Origen del concepto de vacío	8
1.2. Horror vacui y desconocimiento de la presión atmosférica	10
1.3. Afianzamiento de los conceptos de vacío y presión atmosférica	12
1.4. Calor específico y calor latente	16
2 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN LA CULTURA GRIEGA	19
2.1. Heron de Alejandría	19
2.1.1. “Libaciones en un altar producidas por el fuego”	21
2.1.2. “Las puertas del templo se abren por el fuego en el altar”	22
2.1.3. "El chorro de vapor que sostiene una esfera"	23
2.1.4. La Eolípila	23
2.1.5. "El baile de las figuras mediante el fuego en el altar"	24
3 RESURGIMIENTO DEL INTERÉS POR LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL RENACIMIENTO: EL SIGLO DE ORO ESPAÑOL	27
3.1. Primeras incursiones en el estudio de la máquina térmica por autores españoles	28
3.2. Jerónimo de Ayanz y Beaumont	29

4	AVANCES SIGNIFICATIVOS EN LA CONSOLIDACIÓN DE LA MÁQUINA TÉRMICA	33
4.1.	Aporte de Edward Somerser	33
4.2.	El aporte de Denis Papin	34
4.3.	El aporte de Thomas Savery	36
4.4.	Aporte de Thomas Newcomen	39
4.5.	El aporte de James Watt	42
4.6.	Influencia de la máquina de vapor en la revolución industrial	46
5	LOS CONCEPTOS DE TRABAJO Y ENERGÍA	48
5.1	Aportes a la termodinámica de Nicolás Léonard Sadi Carnot	48
5.2	Desarrollo del principio de conservación de la energía	50
6	PERSPECTIVAS DE IMPLEMENTACIÓN PEDAGÓGICA DEL ESTUDIO DE LOS CONCEPTOS DE VACÍO Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA	52
6.1.	Consideraciones básicas sobre la teoría del aprendizaje significativo	52
6.2.	Actividades tendientes al afianzamiento de los conceptos de vacío y presión atmosférica	55
6.2.1.	Prueba inicial	55
6.2.2.	Experimentos básicos, tendientes a llamar la atención de los estudiantes	58
6.2.3.	Experimentos, tendientes a inquietar y posibilitar respuestas y argumentaciones respecto a los conceptos estudiados.	60
	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	72
	PÁGINAS WEB CONSULTADAS	73

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está pensado para orientar la comprensión que el impacto de los conceptos fundamentales de la termodinámica tuvo en el desarrollo de la máquina térmica y sus vínculos con el surgimiento de la revolución industrial. Es indudable la relevancia de la revolución industrial para la construcción del mundo en el que vivimos y, por lo tanto, es justificable el estudio de esta temática, más cuando su estudio es encausado por jóvenes que se inician en el mundo de las ciencias.

Con tal fin, se muestra la evolución histórica del surgimiento de la máquina térmica, tratando de evidenciar los adelantos significativos en su desarrollo, los personajes que los posibilitaron y los conceptos básicos que establecieron para ello. Estos conceptos irán siendo identificados en sus puntos culminantes, donde era necesaria su comprensión para el avance de la máquina térmica, no necesariamente con un modelo teórico terminado. Es pertinente señalar en este punto que, aunque los desarrollos tecnológicos en ocasiones preceden los conceptuales (como en el caso de la máquina térmica), siempre han de entenderse todos los conceptos vinculados a un determinado desarrollo tecnológico, para que este pueda trascender y posibilitar nuevas concreciones.

La presión atmosférica, el vacío, el calor, el trabajo y la energía, son conceptos físicos básicos que hoy en día se nos antojan naturales, o al menos aceptables en el contexto de las actividades cotidianas. Sin embargo, no fue este el panorama antes

del siglo XIX. Su surgimiento no estuvo libre de vicisitudes y problemas, de dificultades para percolar en las ideas que los antecedian y, tal vez, les impedían conformarse para ser lo que ahora son: los cimientos de una ciencia fundamental como lo es la termodinámica, los cimientos de nuestra civilización industrial.

Semejante esfuerzo de desarrollo bien merece una reflexión minuciosa, no sólo por su valor histórico en el desarrollo científico y tecnológico, sino también porque su análisis puede develar perspectivas útiles para el ejercicio pedagógico de la enseñanza de dichos conceptos, aspecto no tratado suficientemente en la literatura especializada y que, teniendo como base la *teoría del aprendizaje significativo* de David Ausubel, puede abordarse siguiendo, a partir de experiencias de laboratorio, la forma como fueron estudiados en su momento por quienes dieron luces para su comprensión.

Esta reflexión se presenta de la siguiente manera: el capítulo 1 aborda la comprensión de los conceptos de vacío y presión atmosférica desde la antigua Grecia hasta el siglo XVII, lo que permitió proponer algunas de las primeras máquinas térmicas, luego de las propuestas por Herón de Alejandría (capítulo 2). Además, el vacío y la presión atmosférica logran ser vinculados conceptualmente, a partir de la comprensión de eventos prácticos, como los realizados por Torricelli y Von Guericke.

Los siguientes tres capítulos se centran en el uso de la energía térmica que, paso a paso, lleva a consolidar un artefacto capaz de producir trabajo aprovechable en aplicaciones prácticas. Los conceptos de trabajo y energía se desarrollarán en el capítulo cinco e irán ligados a los adelantos tecnológicos que los precedieron.

El sexto y último capítulo abrirá una ventana hacia un posible trabajo, sobre la forma de realizar una intervención pedagógica, tendiente a la comprensión de los conceptos trabajados en el texto. Tal intervención tendrá como base la comprensión histórica del desarrollo de la máquina térmica y la teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel.

Lo expuesto de ninguna manera pretende ser un trabajo terminado. Aspira a concretar, de manera sistemática, consultas de diferente índole que nos aproximan a la comprensión del camino seguido en el desarrollo de la máquina térmica.

CAPITULO 1

APORTES CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE LA MÁQUINA TÉRMICA, IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN HISTÓRICA

1.1. ORIGEN DEL CONCEPTO DE VACÍO

La concepción filosófica del vacío empieza a mostrarse claramente desde la postura eleática; Parménides de Elea (Nació entre el 530 a.c. y el 515 a.C, ¿muere 470 a.C?) habla de la “nada” como (Megino, 2001) “aquello de lo que es imposible la predicación ontológica; es decir, aquello que carece de realidad efectiva o existencial”. Este concepto avanza hasta el filósofo jonio Meliso de Samos (nacido probablemente en 470 a.C.) quien adopta la mayoría de tesis planteadas por Parménides sobre la “nada” y usa explícitamente el término de vacío para referirse -aportando su concepción primordial del vacío- a este como (Megino, 2001) “el espacio libre y carente de ser; es decir, de corporalidad o contenido material, lógicamente necesario para postular la posibilidad de movimiento”. Meliso de Samos abraza la noción de que el vacío se identificaba con la percepción sensible de un espacio carente de contenido material perceptible, excluyéndose el aire.

Las ideas de Anaxágoras (500 – 428 a.C.) y de Empédocles de Agrigento (495/490 - 435/430 a.C.), posibilitan la comprensión del vacío como algo diferente al aire; se hace esta diferenciación siendo el aire un elemento sutil y corpóreo y el vacío la carencia de ser, equivalente al no ser o la “nada”. En este momento se identifica plenamente el vacío en una forma asimilable a nuestra concepción de vacío actual. En el siglo V antes de nuestra era se rasguña un concepto vital en el futuro

desarrollo de la máquina térmica por parte de Thomas Newcomen, que en la sección 4.4 se estudiará adecuadamente.

Los primeros atomistas; Leucipo de Mileto (¿480? - ¿420? a.C) y Demócrito de Abdera (¿460 a.C – 370 a.C?) (Figura 1.1) – igual que los Pitagóricos, quienes vieron en el vacío la función principal de separar y delimitar el continuo y en especial los números- postularon la realidad óptica y existencial del vacío, además de convertirlo en parte fundamental de su cosmología. Para los atomistas (Megino, 2001) “los



Figura 1.1.
Demócrito de Abdera

átomos (entes que cumplen con los requisitos del ser parmenídeo; es decir, la unicidad del ser y a su vez responden a la multiplicidad de la naturaleza) son una infinitud de cuerpos extensos, compactos, plenos, impenetrables, impasibles, carentes de cualidades sensibles, invisibles por su tamaño y en perpetuo movimiento, que poseen ilimitadas formas, figuras, orientaciones, disposiciones y tamaños y que conforman la totalidad de las cosas mediante sus colisiones, contactos, reuniones y disoluciones. Constituyen la verdadera y última realidad del ser, de lo pleno; fuera de ellos sólo hay vacío”.

Definido así el átomo, pudieron Leucipo, Demócrito y todos los que seguían y cultivaban sus ideas, explicar la pluralidad de los seres compuestos, así como el cambio en ellos, además de la explicación de los fenómenos sensibles.

Los atomistas, en resumen, propusieron una cosmología basada en la existencia de los átomos y del vacío como espacio físico despojado de toda realidad material;

dicha cosmología abrumba a quien hoy día la compara con la realidad que vivimos, tras el entendimiento de la naturaleza logrado por los hombres de ciencia más de dos milenios después de sus audaces propuestas. Para captar mejor los pensamientos antagónicos de Parménides y de los atomistas, los siguientes pensamientos son útiles, al mostrar dos posturas que a fin de cuentas deberán coexistir en los diversos campos del saber y del ser.

*"El acto y el objeto de pensamiento se confunden. Sin el ser, en el cual es enunciado, no es posible hallar el acto de pensamiento. Porque nada existe ni existirá alrededor del ser, salvo el destino que lo encadena, de modo que sea único e inmóvil. Así pues, las cosas no son más que las cosas dadas por los mortales en su credulidad. [...] El ser llena todo el espacio. **El no-ser es vaciedad, de ahí que no pueda existir aunque pueda pensarse...**"*

"El pensamiento y el Ser se refieren a la misma cosa."

Parménides de Elea (S. V a.C.)

"El espacio puro es vacío. En este vacío no existe altura, ni base ni centro, pero, es el espacio físico en el que los átomos se mueven, se acercan y se alejan. [...] Los átomos son los elementos indivisibles de la materia, entidades últimas del universo, eternos e infinitos en número. Los fenómenos se edifican sobre estas entidades últimas y mantienen las propiedades primarias de tamaño y forma y en esta condición son reales y pueden ser conocidos por medio de los sentidos."

Demócrito de Abdera (S. IV a.C.)

1.2. HORROR VACUI Y DESCONOCIMIENTO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En Grecia se enfrentaron dos teorías. Para Leucipo, Demócrito y su escuela atomista, la materia no era un todo continuo sino que estaba compuesta por pequeñas partículas indivisibles (átomos = sin partes) que se movían en un espacio vacío y que con su distinto ordenamiento daban lugar a los distintos estados físicos. Por el contrario, Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.) excluía la noción de vacío y, para justificar los fenómenos que su propia Física no podía explicar, recurría al célebre

aforismo según el cual «la Naturaleza siente horror al vacío». En efecto, todos los entes del cosmos aristotélico, conformados por los cuatro elementos (agua, tierra, aire y fuego) estaban unidos entre sí por un quinto elemento, el *éter* (palabra de raíz griega que significa el que todo abraza) que ocupaba todos los intersticios del universo, sin dejar uno sólo vacío.

Las cualidades de los elementos determinaban los principios fundamentales del cosmos (palabra de raíz griega que significa orden). Uno de ellos es el de los *lugares naturales*, que establece que todo elemento busca la posición, con respecto al centro de la tierra, que es además el centro del universo, que le es inherente, debido a su naturaleza, en el orden universal. Es por este principio que, por ejemplo, el aire (elemento constitutivo de la atmósfera) se eleva en lugar de caer como las rocas (principio de levedad/gravedad). En consecuencia, desde la perspectiva aristotélica no era posible concebir la existencia de un fenómeno como la presión atmosférica, porque ello requiere la aceptación de que el aire, que compone la atmósfera, es un ente grave (un ente que busca la cercanía del centro de la tierra y, por lo tanto, cae en lugar de elevarse) y no leve como lo clasificó Aristóteles.

También el terror al vacío era, en sí mismo, un principio fundamental de la física aristotélica; Aristóteles era conocedor de la cosmología atomistas y del papel fundamental que el vacío representaba en dicha propuesta de explicación de la naturaleza, pero la niega por ser el vacío inconcebible en su propia propuesta para entender la naturaleza y los fenómenos que en ella se presentan; de hecho, la presencia del éter era fundamental para explicar el movimiento observado en los cuerpos, pues “el movimiento en el vacío sería infinitamente rápido”. De este

modo, Aristóteles fue más riguroso que Parménides, al afirmar que el vacío es imposible de imaginar.

La enorme influencia de la física aristotélica hizo que durante 1800 años aproximadamente, los esfuerzos intelectuales estuvieran volcados hacia una visión que al final resultó errónea, al ser confrontada con la elocuencia de los resultados experimentales y de los desarrollos tecnológicos.

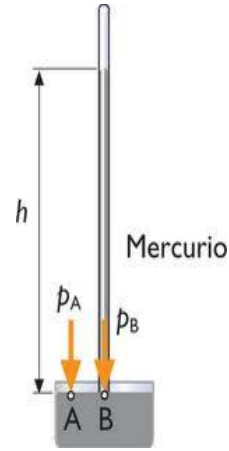
1.3. AFIANZAMIENTO DE LOS CONCEPTOS DE VACÍO Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En el camino que daría pie al desarrollo de la máquina térmica, fueron significativamente relevantes los aporte realizados por varios autores, como los mencionados en las siguientes líneas, en pro de la derrota del *horror vacui* y la comprensión del fenómeno de la presión atmosférica, así como de su utilidad para la generación de trabajo mecánico a partir de un arreglo cilindro-pistón.

En ese contexto debe considerarse el trabajo de Blaise Pascal (1623-1662), que se apoyó en los aportes de Evangelista Torricelli (1608-1647) (figura 1.2.A), quien, a su vez, conoció el barómetro de agua, inventado previamente por Gasparo Berti (1600-1643) para explicar lo que ocurría en los sifones de un edificio en 1640.



A
Evangelista Torricelli



B
Barómetro de Torricelli

Figura 1.2.

Torricelli, quien fue discípulo de Galileo Galilei, solucionó la vieja incógnita - trabajada a su vez por Galileo- de la imposibilidad de hacer ascender agua más allá de 11 metros (35 pies) utilizando una bomba de agua. Torricelli se desligó conceptualmente de la tradición aristotélica del horror vacui al utilizar, en 1643, un barómetro como el que se ilustra en la Figura 2.B, para la medición de la presión atmosférica y el consecuente vacío torriceliano.

Su barómetro consistió en un tubo cerrado en uno de sus extremos y lleno de mercurio, cuya parte abierta se sumergía en otro recipiente con mercurio, manteniendo el tubo en posición vertical. Se observó que el mercurio descendía dentro del tubo hasta una altura 13,6 veces menor que la que se obtenía al realizar el experimento con agua. Como Torricelli sabía que el mercurio era 13,6 veces más pesado que el agua, dedujo que ambas columnas de líquido soportaban el mismo contrapeso. Supuso entonces que tal contrapeso se debía a una fuerza P_A , producida por la presión atmosférica, que se opone al peso de la columna de mercurio en el

tubo P_B , de modo que el mercurio detiene su descenso cuando dichas fuerzas alcanzan el equilibrio.

En 1648, Pascal mostró, con el barómetro ideado por Torricelli, un mayor descenso de la columna de mercurio en el tubo al ascender en una montaña. Estableció de esta manera que la presión atmosférica varía sobre la superficie de la tierra, lo que sin embargo puede aprovecharse en un procedimiento barométrico para medir alturas de lugares y accidentes geográficos.

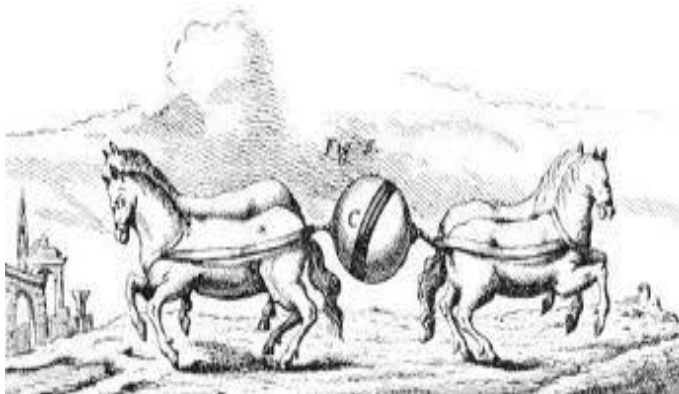
Estos experimentos plantearon dos cuestiones inaplazables: la razón del descenso en la columna de mercurio y la naturaleza del espacio, aparentemente vacío, que dejaba en el tubo la columna de mercurio al descender.

La suposición de Torricelli se consolidó como respuesta a la primera cuestión: la atmósfera ejerce presión, de modo que la columna de mercurio en el tubo desciende hasta que dicha presión equilibra la columna de mercurio. Siendo este el caso, las variaciones en la altura de la columna registradas por Pascal no eran cosa diferente a una medida de la presión atmosférica, la cual disminuye al ascender por una montaña.

Con respecto al espacio libre dejado en el tubo por la columna de mercurio, a causa del *horror vacui* se pensó inicialmente que quedaba ocupado por vapor de mercurio. Sin embargo, experimentos desarrollados por el mismo Torricelli llevaron a la conclusión de que dicho espacio estaba vacío.

Experimentos de Otto von Guericke

Por su parte, Otto von Guericke (1602-1686) (figura 3.B) -conocedor del trabajo de Torricelli y Pascal- dio un paso decisivo que, en su época, le valió reputación de “mago” más que de científico. Su experimento más famoso es quizá el que realizó en Magdeburgo (figura 1.3.A), ante el emperador Fernando III y su corte: dispuso dos hemisferios acoplados en forma tal que al unirlos cerraran herméticamente y permitió que los asistentes constataran la ausencia de trucos o de intervenciones adicionales; luego procedió a extraer todo el aire de la esfera formada con los dos hemisferios y demostró a continuación que los hemisferios no podían ser separados, ni siquiera halándolos con caballos de tiro.



A
Experimento de Magdeburgo



B
Otto von Guericke

Figura 1.3.

No obstante, desde el punto de vista técnico, el aporte destacado de von Guericke fue el desarrollo de la primera bomba de vacío, a partir de experimentos iniciados hacia 1640. En sus primeros intentos, adaptó una bomba de agua a un tonel de madera, con la cual extrajo el aire que quedaba en el tonel luego de sacar el agua;

pero observó que el aire exterior fluía hacia dentro del tonel a través de sus poros. Mejoró el procedimiento sellando las válvulas y el cilindro de la bomba de agua y, hacia 1650 presentó su invento optimizado. Con ella, muestra que una esfera de cobre hueca colapsa al extraer el aire de su interior; además, con un dispositivo cilindro-pistón que generaba vacío bajo el pistón, mostró que era posible hacer ascender grandes pesos.

Todos los experimentos anteriores y, particularmente los aportes de von Guericke, llevaron a aceptar el descubrimiento de dos nuevos fenómenos naturales y a comprender paulatinamente su naturaleza: el vacío y la presión atmosférica. Esta evolución constituyó una derrota significativa al pensamiento aristotélico.

1.4. CALOR ESPECÍFICO Y CALOR LATENTE

William Cullen (1710-1790), catedrático de medicina de la Universidad de Glasgow, logró realizar una importante contribución a la ciencia, cuando demostró que era posible obtener temperaturas muy bajas al evaporar agua y otros fluidos a baja presión, utilizando una bomba de vacío para tal fin. Por su parte, Joseph Black (1728 -1799) estudió medicina y anatomía bajo el influjo de los trabajos de Cullen y, luego de realizar su tesis doctoral, donde la balanza fue un instrumento fundamental para que su trabajo alcanzara un rigor significativo, emprendió el estudio de la naturaleza del calor y, a partir del conocido fenómeno consistente en que el hielo se mantiene a la misma temperatura mientras se transforma en líquido, logró definir dos conceptos importantes en la física del calor: el calor latente y el calor específico.

Llamó entonces calor latente al calor requerido por una sustancia para cambiar de fase, con lo cual realizó una distinción crucial entre calor y temperatura, al comprobar que era la presencia del calor latente lo que hacía que el agua fuera líquida en vez de sólida a una misma temperatura.

Los trabajos de Black sobre el calor específico, que definió como la cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en un valor definido, permitieron evidenciar que, al “mezclar” con agua a diferentes temperaturas, materiales con calor específico mayor que el de esta, como el hierro y otros metales, no se conservaba uniformidad en los incrementos o descensos de la temperatura. Por ejemplo, si se toma un kilogramo de agua a 100°C y se mezcla con otro kilogramo de agua líquida a 0°C , al final la mezcla tendrá una temperatura de 50°C ; pero si se mezclan un kilogramo de hierro a 0°C y un kilogramo de agua a 100°C , al final del proceso la temperatura del hierro en conjunto con la del agua, será mucho menor a los 50°C .

James Watt fue un fabricante de instrumentos matemáticos y científicos cercano a Black en la Universidad de Glasgow, que conociendo los resultados obtenidos por Black sobre la naturaleza del calor, concluyó en una modificación de la máquina de Newcomen (la máquina de Newcomen se estudiará en sección 4.4), al introducir un compartimento especial (condensador) que hace más eficiente su operación. Debe tenerse presente que la máquina de Newcomen funciona con un sólo cilindro, donde se mueve el pistón por efecto de la presión atmosférica y el vapor producido al calentar el agua en una caldera, en ciclos de ascenso y descenso. Tales ciclos requieren del enfriamiento del pistón para condensar el vapor que lo había empujado en el ascenso, permitiendo que la presión atmosférica lo hiciera

descender. Dicho enfriamiento se hacía poniendo el cilindro en agua, proceso bastante ineficiente debido al alto consumo de energía.

El condensador de Watt, basado en el concepto de calor específico, aumenta la eficiencia de la máquina en el ciclo de descenso del pistón. Sin este conocimiento, las contribuciones técnicas de Watt, muy seguramente se hubiesen truncado y el advenimiento de la revolución industrial se habría tardado más en sucederse.

CAPÍTULO 2

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN LA CULTURA GRIEGA

2.1. HERÓN DE ALEJANDRÍA

Desde la cultura griega se puede seguir la evolución del uso del vapor como fuente de energía aprovechable para trabajos que requieren una fuerza motriz significativa. Herón de Alejandría (siglo I de nuestra era) (figura 2.1) propuso diferentes máquinas térmicas en su obra “Pneumática”, en la que indica que los artilugios presentados son obra de él o de otros, aunque sin especificar la autoría en cada caso. Probablemente, algunos de ellos fueron ideados por Phylo el Bizantino o Arquímedes de Siracusa, indudables genios creadores de quienes Herón conocía sus obras.



Figura 2.1.
Herón de Alejandría
(Siglo I antes de cristo)

En la Tabla 2.1 se enuncian los artefactos presentados por Herón¹, que sobresalen por la utilización del aire o del vapor de agua como medio de transmisión del movimiento. Su principio de operación básico se explica a continuación, indicando el uso particular de la expansión del aire² para desalojar agua de un recipiente y

¹ Heron de Alejandría en su obra “Pneumática” da una explicación completa de los artefactos aquí mencionados; quien se apasione con el tema, tal vez considere ir a la página <http://www.egiptomania.com/ciencia/pneumatica.htm>, donde se reseña la obra de Herón.

² Se denomina gas (consideramos en este pasaje al aire como el gas que conforma la atmósfera terrestre) al estado de agregación de la materia que no tiene forma ni volumen propio. Su principal

producir movimiento, así como la forma en que un chorro de vapor de agua, tras la expansión del vapor, es aplicado para producir un movimiento convenientemente en el mecanismo descrito.

TABLA 2.1: Tipos de artefactos reseñados en la obra de Herón de Alejandría

Artefactos que utilizan el aire como medio transmisor del movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • “Libaciones en un altar producidas por el fuego” • “las puertas del templo se abren por el fuego en el altar”
Artefactos que utilizan el vapor como medio transmisor del movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • “Chorro de vapor que sostiene una esfera” • El baile de las figuras mediante el fuego en el altar • “Eolípila”

composición son moléculas no unidas, expandidas (por efecto de las colisiones que se dan entre ellas) y con poca fuerza de atracción, haciendo que no tengan volumen y forma definida, provocando que este se expanda para ocupar todo el volumen del recipiente que la contiene.

Los conceptos de gas y vapor son diferentes pues el término de vapor se refiere estrictamente para aquel “gas” que se puede condensar por presurización a temperatura constante.

Tanto un gas como el vapor al expandirse ejercen una fuerza sobre las paredes del recipiente que los contiene, dicha fuerza puede ser aprovechada para efectos prácticos, conduciendo el gas o el vapor de manera conveniente, como lo hiciera Heron en sus artefactos.

2.1.1. "Libaciones en un altar producidas por el fuego"

En este artefacto, las estatuas dan la impresión de ofrecer libaciones cuando se enciende la llama encima del pedestal. El altar (EFI) y el pedestal (ABCD) deben ser herméticos y deberán estar conectados por un orificio (G).

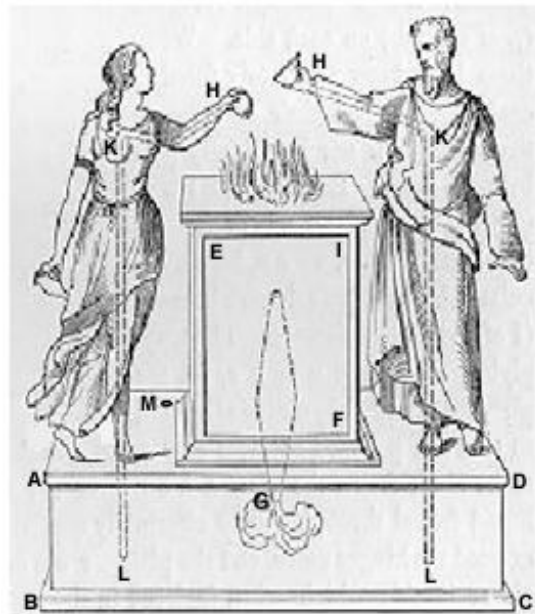


Figura 2.2.
"Libaciones en un altar producidas por el fuego"

Inicialmente el pedestal debe llenarse con agua por el orificio M, hasta que los extremos inferiores de los tubos, que van hacia las manos de las estatuas, queden sumergidos; se cierra herméticamente el

orificio M, y se procede a encender el fuego en el pedestal. *"El aire dentro de él (altar), al ser enrarecido, descenderá al pedestal, y ejercerá presión sobre el líquido que contiene; el cual, al no tener otro camino de salida, pasará a través de los tubos (HKL) hasta las copas, en las manos de las estatuas. De esta manera, las estatuas ofrecerán libaciones hasta que éstas extingan el fuego del altar"* explica Herón en su Pneumática.

2.1.2. Las puertas del templo se abren por el fuego en el altar

Este artefacto funciona utilizando la expansión del aire en igual forma que el anteriormente presentado: en el altar **Ed**, se enciende fuego en honor a los dioses, el cual expande el aire contenido en el altar; por el tubo **FG** fluye el aire hasta la esfera **H**, la cual contiene agua que fluirá, gracias a la presión ejercida por el aire proveniente del altar, hacia el balde **N** por medio del sifón **KLM**. Al tener el balde una cantidad de agua apropiada y con ayuda de cadenas debidamente utilizadas como se ilustra en la figura 2.3, las puertas se abrirán.

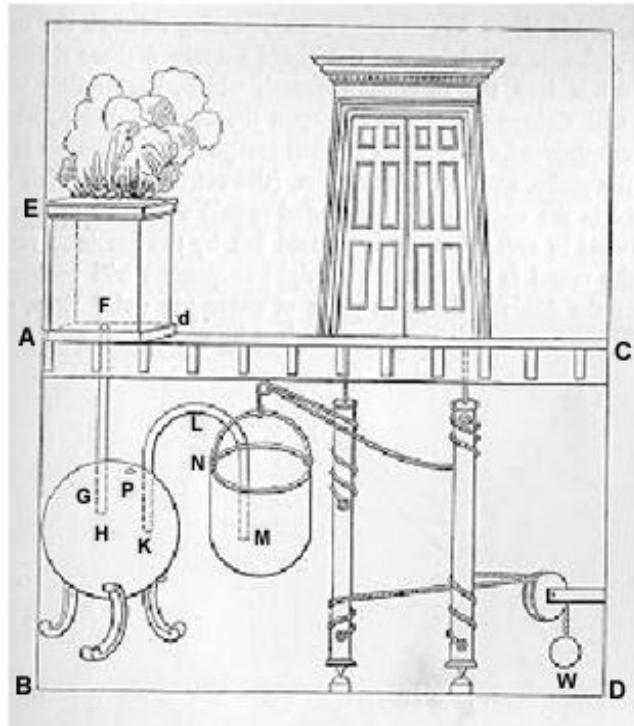


Figura 2.3.
Las puertas del templo se abren por el
fuego en el altar.

Luego, cuando el fuego se apague, el aire rarificado escapará por los poros laterales del altar y la esfera, haciendo que el sifón curvo devuelva el agua a la esfera. Lo anterior ocasiona que el balde suspendido se aligere, y el contrapeso **W** haga que las puertas se cierren, haciendo uso de cadenas dispuestas contrariamente a las que antes habían abierto las puertas.

El dispositivo también puede funcionar utilizando Mercurio que es más denso que el agua.

Estas dos aplicaciones dejan en claro la forma como Herón entiende la expansión del aire al ser calentado, y como esta expansión es aprovechable, por medio de mecanismos ingeniosos, para empujar agua y producir un efecto vistoso y controlado.

2.1.3. "El chorro de vapor que sostiene una esfera"

En este sencillo montaje, Herón utiliza el vapor de agua en un sistema de propulsión a chorro. Sólo es cuestión de encender fuego bajo el recipiente que contiene el agua y ubicar la esfera en la parte superior del tubo por donde sale el vapor, para verla levitar cuando el vapor alcanza una presión adecuada. Tal sistema de propulsión a chorro es el soporte de otro ingenio descrito por Herón que utiliza vapor, el cual se presenta a continuación.



Figura 2.4.
Chorro de vapor que sostiene una esfera.

2.1.4. La Eolípila

El artilugio (figura 2.5) consta de un caldero (AB) que alimenta vapor a presión a una esfera metálica a través de un par de tubos curvos (EFG y CNL). Las conexiones de éstos últimos con la bola son G y L respectivamente y sirven de pivotes, de forma tal que ésta pueda girar. A su vez, la esfera cuenta con dos pequeños tubos de escape (K y H), ubicados sobre el diámetro perpendicular al de

los pivotes G y L, doblados en forma de ele y en sentido contrario uno con respecto al otro, de forma tal, que cuando el vapor salga por los orificios, ocasione la rotación de la esfera sobre los pivotes.

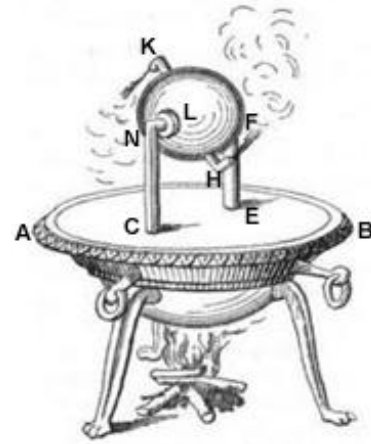


Figura 2.5
Eolípila

La Eolípila, turbina de vapor primitiva o primer motor conocido en la historia, es el primer artefacto conocido que transforma energía térmica en mecánica y, por lo tanto, es la primera aproximación conocida a una máquina térmica. Probablemente no fue utilizada para fines prácticos y llega hasta nuestros días como una aplicación curiosa del ingenio de Herón para trabajar con el vapor.

2.1.5. "El baile de las figuras mediante el fuego en el altar"

Este artefacto aprovecha un chorro de aire caliente para hacer mover una serie de figurillas, lo que les da la impresión de estar danzando, probablemente en honor a alguno de sus dioses.

Escribe Herón al respecto: "*Cuando se prende fuego en el altar, las figuras parecen bailar: ambos altares deben ser transparentes, ya sea de vidrio o de cuerno ablandado. A través del centro del altar (en donde se prende el fuego) se inserta un tubo que pueda girar en un pivote bajo la base del altar mayor*

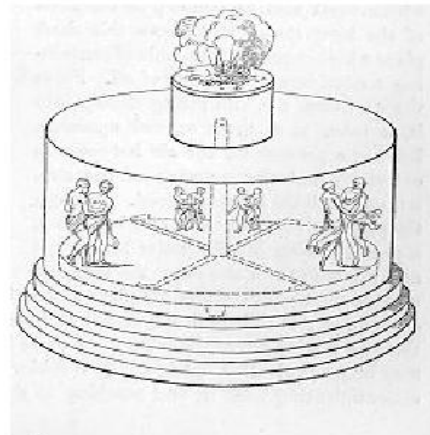


Figura 2.6.
El baile de las figuras
mediante el fuego en el altar

(aquél en el que descansan las figuras). Pegados a su extremo inferior, y conectados con él, se ubican pequeños tubos en ángulos rectos unos con otros, y doblados en las extremidades en direcciones opuestas. La rueda, o plataforma donde permanecen las figuras también se sujeta al tubo central. Cuando se encienda el sacrificio, el aire se calentará y expandirá, pasando del altar al tubo central, y luego a los pequeños tubos, el cual al encontrar resistencia en los extremos de los mismos causará que el tubo central gire, y solidarias con él, lo harán las figuras."

En estas tres aplicaciones, un lector ilustrado de la época renacentista pudo haber visto la posibilidad de utilizar la fuerza expansiva del vapor para ser aprovechada en la generación de trabajo, en aplicaciones acordes con las necesidades tecnológicas de su época. No deja de sorprender, sin embargo, que el ingenio mecánico y práctico de Herón de Alejandría, que lo llevó a incursionar en el trabajo con el vapor al nivel evidenciado en la *Eolípila*, no hubiera superado tal nivel. Y no es descabellado atribuir tal limitación a obstáculos epistemológicos tan grandes como el *horror vacui*, legado profundamente arraigado de la tradición aristotélica, interpuesto en el estudio de la naturaleza en aquellos añejos días. Es oportuno enfatizar que dicha doctrina no concebía el vacío como una realidad posible, pues esto supondría la existencia de un movimiento infinitamente rápido en ése medio.

El desconocimiento de las particularidades o propiedades de la presión atmosférica habría sido otro crucial obstáculo, esta vez fenomenológico. En este punto, como se ha dicho antes, la física aristotélica le atribuía al aire una naturaleza que lo hacía elevarse y, por tanto, éste no podía ejercer presión alguna sobre los cuerpos que rodea. Por último, el desinterés (incluso, cierto desprecio) de los griegos por

medios alternos para afrontar tareas que requirieran trabajo físico, debido a su cultura esclavista, constituyó un obstáculo político-cultural para el desarrollo tecnológico basado en máquinas.

CAPITULO 3

RESURGIMIENTO DEL INTERÉS POR LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN EL RENACIMIENTO: EL SIGLO DE ORO ESPAÑOL

Concluido el florecimiento griego de Alejandría, tras el triunfo de los ideales religiosos cristianos sobre Roma y la posterior caída romana a finales del siglo V a manos de los bárbaros germanos del norte, el advenimiento de la milenaria época medieval trae consigo la decadencia del saber occidental en todas las ramas; tendrían que transcurrir 1500 años aproximadamente desde los trabajos de Herón, para ver surgir nuevamente el interés por el uso de la energía de origen térmico y su utilización en la generación de vapor para la realización de tareas mecánicas.

En este capítulo se analizan los avances más relevantes de esta nueva era del desarrollo de la máquina térmica, sin olvidar que los artefactos propuestos por Pedro Juan de Lastanosa, Salomón de Caus, Jerónimo de Ayanz, Giovanni de Branca y el propio Denis Papin aplicaron las ideas antes exploradas por Herón, al utilizar la fuerza expansiva del vapor actuando directamente sobre la superficie libre del agua.

3.1. Primeras incursiones en el estudio de la máquina térmica por autores españoles

El renacimiento vio nacer nuevas ideas. España atravesó su fugaz expresión renacentista, llamada “siglo de oro español”, entre mediados del siglo XVI y principios del siglo XVII, época en la que surge Pedro Juan de Lastanosa (principios del siglo XVI, ¿1527? - 1576), quien da a conocer sus ideas sobre el trabajo con el vapor, al proponer una especie de cañón de vapor, en su obra “los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas”.

Los aportes ibéricos continuaron con Juan de Escrivá, quien tradujo del latín al italiano³, en el año de 1606, el “De Pneumaticorum libri III” escrito en 1601 por Giovanni Battista della Porta (1553-1613). En esta obra della Porta describió una forma de desalojar agua de un recipiente utilizando vapor; Juan de Escrivá la complementó con otros métodos y, a su vez, disertó sobre la posibilidad de elevar agua utilizando la fuerza expansiva del vapor (figura 3.1.). En la representación mostrada, **D** es una caldera, donde se calienta agua, hasta generar vapor que será conducido por la tubería **B** hasta el recipiente **C** que contiene el agua, esta agua será obligada a ascender por la fuerza expansiva del vapor proveniente de la

³ Juan de Escrivá quien probablemente fue miembro de la familia valenciana de los Escrivá, “avencidados en Nápoles” tradujo para “unos mecánicos”, de quienes decía “che quasi sono tutti idioti” (tomado textual de la obra “Patentes de invención españolas en el siglo de oro” pág 36) la obra de della Porta, por lo cual puede inferirse que Escrivá vivía en Italia o realizó el trabajo de traducción para italianos, naturalmente al italiano y no al Español.

La relación de España con Italia a raíz de los contactos de tipo político, comercial y económico fue fluida en el siglo XVI, debido al florecimiento de la cultura, la ciencia y la técnica italiana, con lo cual un hecho como el mencionado hubiese podido ser cotidiano en aquellos días.

caldera, por el tubo inmerso en el recipiente C y dirigido al exterior, logrando así el objetivo propuesto de disponer agua de una cota inferior en una superior.

3.2. Jerónimo de Ayanz y Beaumont

Por su parte, el administrador general de las minas del reino español, Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613) (figura 3.2.A), se encontró con problemas inherentes al desagüe de las minas, que disminuían e incluso llegaban a impedir la producción obligando al abandono, como ocurrió con las minas de Guadalcanal. Ayanz construyó máquinas térmicas, basadas en un sifón con intercambiador, capaces de extraer el agua de las minas además de proveer aire acondicionado (utilizando un eyector de vapor, elemento tecnológico que sólo se popularizaría en el siglo XX).

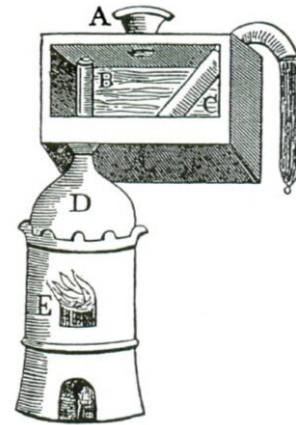
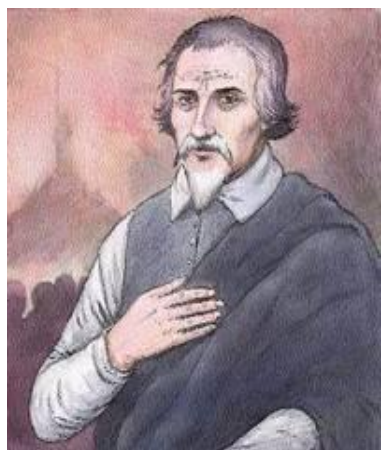
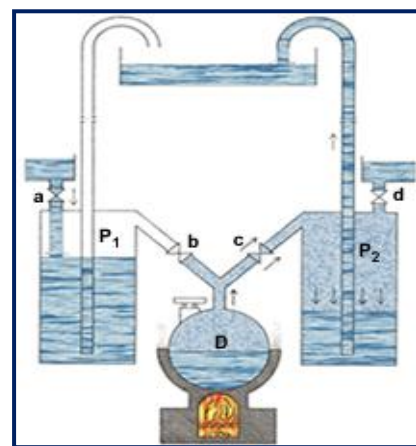


Figura 3.1.
Experimento con vapor de agua para elevar agua por Juan de Escrivá



A
Jerónimo de Ayanz y
Beaumont



B
Máquina de vapor de Ayanz

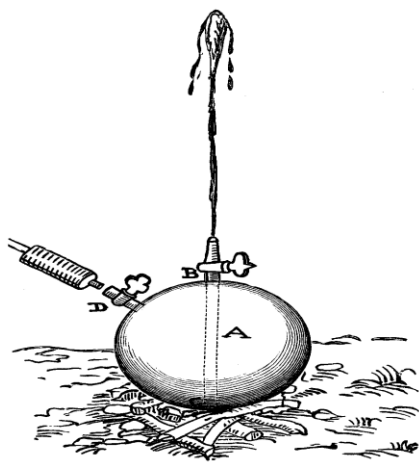
Figura 3.2.

Es oportuno resaltar que la patente conseguida por Ayanz en 1606, por la máquina de vapor utilizada con éxito en el desagüe de las minas de plata de Guadalcanal, refuta la idea, ampliamente difundida, de que el inglés Thomas Savery fue el primero en patentar una máquina de vapor en el mundo, en 1668.

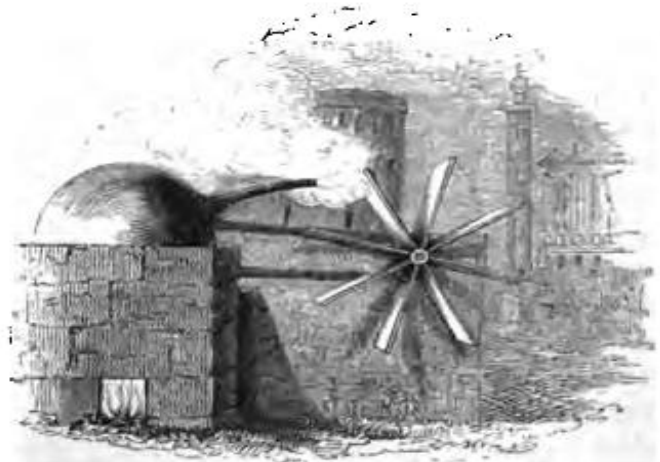
La máquina de vapor de Ayanz (Figura 3.2. B) consta de una caldera de cobre, provista de un horno alimentado con carbón o leña. La caldera suministra vapor de agua a presión, útil para retirar el agua en minas profundas según el siguiente procedimiento: el vapor se produce en la caldera esférica **D** y luego fluye hacia el recipiente **P₂** donde, al alcanzar la presión adecuada, ejercerá una fuerza tal que el agua contenida en **P₂** asciende por el ducto dispuesto para su evacuación hasta la parte exterior de la mina; debe observarse que en esta etapa del funcionamiento la válvula **d** permanece cerrada y la **C** abierta (contrario a las válvulas **a** y **b**); el proceso descrito se repite en el recipiente **P₁** luego de haber sido evacuada toda el agua de **P₂** y cerrada la válvula **C**; siempre que la alimentación de la caldera se mantenga, la máquina estará funcionando en forma continua pues mientras se achica agua de un recipiente, el otro se está llenando con el agua a evacuar de la mina.

Jerónimo de Ayanz fue un prolífico inventor que desafortunadamente quedó en el olvido, debido a las condiciones españolas de la época en que vivió y las que lo precedieron, y que no permitían fácilmente llevar a la práctica y comercializar los inventos. De hecho, su aporte no fue tenido en cuenta por la técnica en auge de la época post renacentista, y debió ser repetido 92 años después por Thomas Savery, quien en 1698 logró proponer una máquina de vapor de uso práctico.

El trabajo de Ayanz fue desconocido prácticamente hasta 1990, año en el que tuvo lugar la primera edición del libro “Patentes de invención en el siglo de oro” de Nicolás García Tapia; en este texto, que se basa en documentos conservados en los archivos españoles, específicamente en la Sección Cámara de Castilla del Archivo de Simancas (Valladolid), se hallan las patentes y cédulas de privilegio de inventores españoles del siglo de oro.



A
Fuente de Salomón de Caus



B
Ilustración de turbina de vapor propuesta por Giovanni de Branca

Figura 3.3.

Tales documentos revelan aportes previos a los trabajos realizados por:

- Salomón de Caus (1576-1626) sobre la fuerza expansiva del vapor (1615) (figura 10.A), realmente similar a “El chorro de vapor que sostiene una esfera” propuesto por Herón.
- Giovanni de Branca (1571 –1645), consistente en una turbina de vapor primigenia (1629) (figura 10.B).
- Denis Papin (1647-1712), realizado en conjunto con Robert Boyle (1627- 1691) entre los años de 1668 y 1673, sobre cocción con vapor a altas presiones.

Cabe destacar el avance logrado por los dos últimos personajes, especialmente Denis Papin, quien alcanzó a desarrollar una máquina térmica. Este desarrollo, junto con sus experimentos de aplicación de la expansión del vapor de agua en un arreglo cilindro pistón para levantar pesos, abren de forma definitiva una nueva perspectiva para el desarrollo de la máquina térmica.

CAPÍTULO 4

AVANCES SIGNIFICATIVOS EN LA CONSOLIDACIÓN DE LA MÁQUINA TÉRMICA

4.1. APORTE DE EDWARD SOMERSET

En su libro “un siglo de invenciones”, *Edward Somerset* Marqués de Worcester- (1601-1667) (figura 4.1.) planteó los principios de una máquina de vapor, útil para elevar volúmenes de agua a los pisos altos de las construcciones o para achicar el agua de una mina.



Figura 4.1.
Edward Somerset
-Marques de
Worcester-

Su funcionamiento se basa en un hecho fácilmente comprobable en la actualidad: supongamos que se confina vapor de agua en una botella de plástico cerrada; si la botella se enfría, se observa que el vapor se condensa al tiempo que la botella se aplasta. Pero, si en lugar de cerrar la botella, la boca se sumerge en un recipiente de agua, la condensación del vapor al enfriarse la botella no irá acompañada de su aplastamiento sino del ingreso del agua del recipiente a su interior.

En efecto, Somerset concibió una máquina de vapor (figura 4.2.) de dos tiempos, constituida por una cámara sellada a la que ingresa vapor de agua, cuyo enfriamiento va acompañado de la succión del agua que se quiere achicar (este es el primer tiempo del proceso). A continuación, el agua contenida en la cámara se

expulsa al exterior a través de un ducto, haciendo entrar más vapor a la cámara (este es el segundo tiempo del proceso).

Aunque existen pruebas de que la máquina de vapor de Somerset fue propuesta justo antes de la guerra civil inglesa de 1641, y de que fue retomada por Thomas Savery unos sesenta años después, algunos historiadores no dan validez a tal invento.

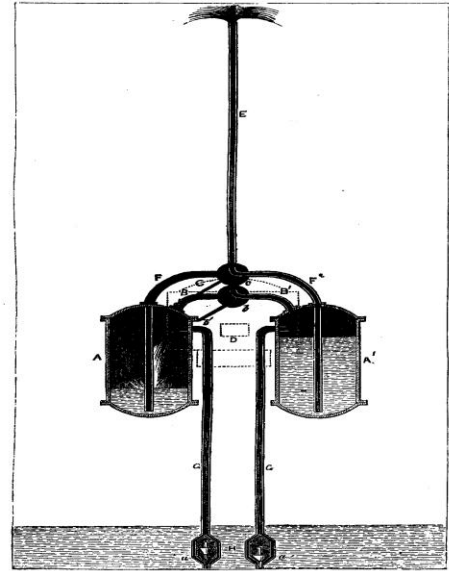


Figura 4.2.
Máquina del Marqués de Worcester

4.2. EL APORTE DE DENIS PAPIN

El francés Denis Papin (1647-1714) (figura 4.3) publicó en 1687 su libro “Descripción y empleo de la nueva máquina para elevar agua”, texto en el que planteó las características básicas de una máquina de vapor atmosférica. Papin fue influenciado por Christiaan Huygens, quien en 1680 había creado un dispositivo que hacía mover un pistón dispuesto en un cilindro con aire caliente, producto de una explosión controlada de pólvora.



Figura 4.3.
Denis Papin

En su trabajo, Papin plantea *"un nuevo método para obtener a bajo precio fuerzas motrices considerables"*, con las siguientes instrucciones: *"Tomad un cilindro que contenga agua y esté cerrado por un pistón. Calentado, el vapor levanta el pistón. Dejad que se enfríe y el vapor se vuelve a convertir en agua. Entonces, por efecto*

de la presión atmosférica, el pistón vuelve a bajar. Seguir alternando estas dos operaciones de calentar y dejar enfriar y el pistón se moverá indefectiblemente".

Papin no sólo planteó su máquina de vapor desde el punto de vista teórico, sino que la llevó a la realidad al construir una embarcación con rueda de paletas en Kassel (Alemania), que podía transportar hasta dos toneladas. No obstante, los transportadores de su época lo hicieron arrestar, al sentir vulnerado su trabajo con la introducción de un artefacto de estas calidades. La noche del 25 de septiembre de 1707 su embarcación fue incinerada, y no le fue posible recrearla porque murió pocos años después. Afortunadamente, sus ideas trascendieron y sirvieron de apoyo a científicos posteriores como Newcomen.

Funcionamiento básico de la máquina de vapor de Papin

En la Figura 4.4, el generador de vapor (A), que permanece cerrado mientras está en funcionamiento la máquina, tiene un tubo (C) por el cual se alimenta el agua. Una válvula, en la parte superior de este tubo, permite regular la presión. El vapor fluye hacia el “pistón” por medio de un tubo (B), poseedor de un grifo (E) que se abre cuando el “pistón” está en su punto muerto,

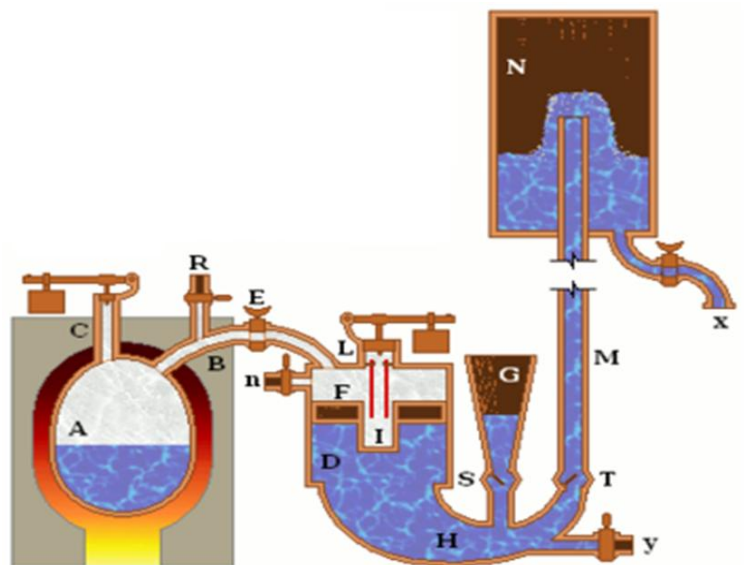


Figura 4.4.
Máquina de vapor de Denis Papin

para hacer que el agua alimentada por (G) suba por (M) hacia el depósito (N), al

descender el “pistón” (FI). El “pistón” es hueco para que flote en el agua, y el espacio (I) se utiliza para introducir unas barras de acero al rojo, que hacen posible mantener el vapor caliente y maximizar el funcionamiento de la máquina. En el diagrama (n) denota el grifo de escape de vapor, (S) y (T) denotan válvulas de retención, y el “pistón” opera como separador de agua y vapor, cuyo propósito es evitar la condensación del vapor.

Es de notar que esta máquina funciona, en esencia, de forma similar a una de las creaciones de Herón de Alejandría. Debe subrayarse que Papin poseía los conocimientos teóricos necesarios para crear un dispositivo que generara fuerzas motrices considerables y, en la práctica, había desarrollado experimentos conducentes a entender la generación de movimiento con un cilindro-pistón (utilizando pólvora y también vapor de agua). Por eso es sorprendente que se haya limitado a proponer una máquina de vapor simple, desaprovechando aparentemente sus profundos conocimientos. Más aún, hubo que esperar hasta 1712 para que Thomas Newcomen diera un impulso significativo a la máquina de vapor, utilizando el arreglo cilindro-pistón propuesto por Papin.

4.3. EL APORTE DE THOMAS SAVERY

En 1698, **Thomas Savery** (1650-1715) (figura 4.5.) patentó una máquina para extraer agua de las minas de Cornualles y, en 1702, publicó un folleto explicativo llamado *The Miner's Friend* (el amigo del minero), en el cual describe minuciosamente las partes, el funcionamiento y las bondades de su invento. No



Figura 4.5.
Thomas Savery

obstante, dicha máquina tenía varias dificultades significativas:

1. Trabajaba a grandes presiones, lo cual generaba un riesgo continuo de explosión en la caldera, lo cual podía ocasionar lesiones e incluso la muerte a sus operarios.
2. En su diseño, la caldera estaba integrada a la máquina, es decir, estaba todo junto, lo que la hacía poco portable y funcional
3. Requería ingentes cantidades de combustible, lo que la tornaba poco eficiente, por lo tanto la máquina de Savery resultaba costosa para los beneficios que prestaba.

Sin embargo, la máquina de Savery fue considerada como la primera alternativa viable que se presentó en Inglaterra para la labor que debía realizar; es decir, achicar el agua de las minas y proveer de agua a los edificios en altura.

Funcionamiento de la máquina de Savery

El principio bajo el cual funcionaba la máquina de Savery (figura 4.6.) era simple pero innovador en su época, pues hasta el momento no se había construido una alternativa viable de máquina térmica que utilizara el vacío como lo aplicó Savery. La máquina funcionaba en la siguiente forma: en la caldera **1** se producía vapor, que se hacía ingresar en el recipiente **2**,

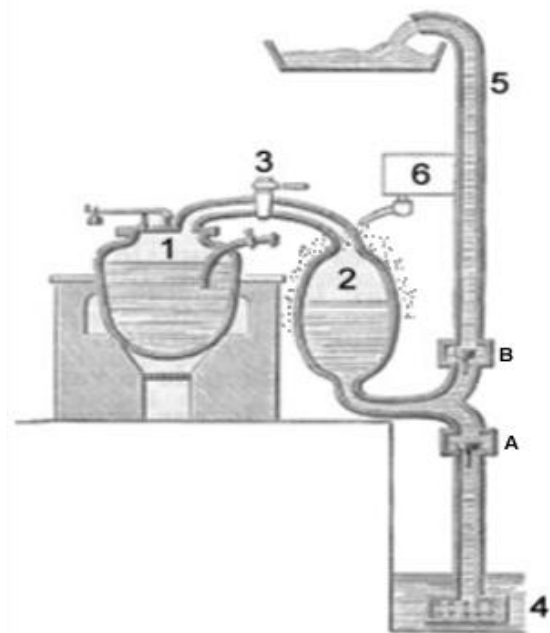
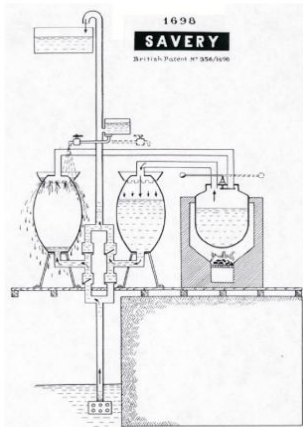


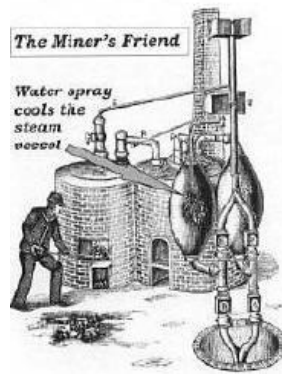
Figura 4.6.
Máquina de vapor de Savery

por medio del ducto y válvula **3**, dicho vapor se condensaba con agua fría vertida en la superficie del recipiente **6**, con lo cual se producía un vacío parcial, que se aprovechaba para hacer ascender agua desde el fondo de la mina -no más de 35 pies- por efecto de la presión atmosférica que actuaba en la parte inferior **4**, donde se tomaba el agua de la mina; luego esta agua a evacuar y tras el cierre de la válvula **A** y **3**, se impulsaba fuera de la mina a causa del vapor que empujaba sobre la superficie del agua albergada en el recipiente **2**, por el ducto **5** y abriendo la válvula **B**. La máquina de Savery requería de un operario, para controlar las diferentes válvulas que garantizaban su correcto funcionamiento; dicho operario debía ser muy diestro en su trabajo porque en un aumento de la presión, se podía desencadenar un fatal accidente.

La figura 4.7 contiene dos gráficas que muestran respectivamente el esquema de la máquina **A** y una representación pictórica de la época **B**. Debe notarse que, en la anterior explicación del funcionamiento de la máquina de Savery, se describió el proceso sólo para un recipiente de los dos que tiene el dispositivo; sin embargo, el esquema ayuda a dilucidar la operación global de la máquina.



A
Esquema The Miner's Friend



Steam is not the mist that comes from a boiling kettle, that's just water vapour. Steam is a hot, invisible gas. When water is boiled the steam it produces occupies 1600 times more volume than the original quantity of water did. Savery's machine worked on the condensation of steam. That is, when steam is cooled it reverts to water, thus shrinking to 1/1600th the volume of the steam. If this occurs in a strongly built, closed vessel, a partial vacuum is created (if the vessel is weak the vacuum will cause it to collapse). The Miner's friend utilized this vacuum.

B
The Miner's Friend

Figura 4.7.

4.4. APORTE DE THOMAS NEWCOMEN

Thomas Newcomen (1663-1729) (figura 4.8.) fue un comerciante de Dartmouth, Inglaterra, dueño de una herrería y experto en la fabricación de instrumentos para las minas. No era un científico, pero poseía una mente inquieta que, a pesar de su falta de conocimientos teóricos, le permitió perfeccionar la máquina de Savery. En efecto, en el año de 1712 y con ayuda de John Calley,



Figura 4.8.
Thomas Newcomen

ya tenía en funcionamiento la primera máquina de vapor atmosférica de la historia, que fue utilizada exitosamente para bombear agua de las minas, aproximadamente durante un siglo.

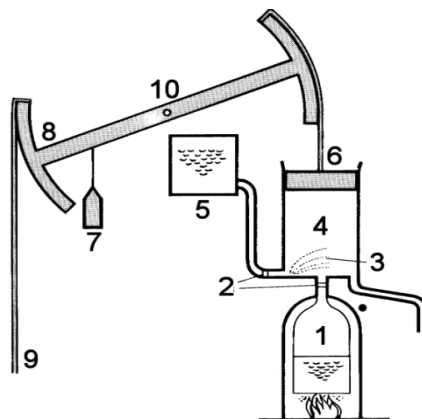
La máquina inventada por Newcomen, solucionó en parte las dificultades que presentaba la máquina de Savery, al hacerla más eficiente y segura; la solución de los problemas fue posible por los cambios radicales que la máquina de Newcomen presenta, respecto a la de Savery, al ser una máquina atmosférica.

Siendo conocedor de la escasa calidad de las condiciones de trabajo de sus clientes mineros (además Newcomen empieza a ver el sufrimiento de las “bestias” mulas que hacían posible el trabajo en las minas), Newcomen siempre tuvo en la cabeza la idea de mejorar dichas condiciones, con un método que mecanizara el proceso de extracción y desagüe de las minas, ahorrando tiempo y recursos.

Funcionamiento de la máquina de Newcomen

El funcionamiento de la máquina de Newcomen (figura 4.9.) puede sintetizarse en la siguiente forma : en la caldera **1** se produce el vapor que fluye hacia el cilindro **4**, abriendo la válvula **2**, con el fin de que su presión empuje hacia arriba un pistón **6**. Para ayudar a este movimiento, el extremo del pistón estaba unido a un sistema de contrapesos **7**, que al ascender operaba una bomba de succión unida a unas cadenas representadas por **9**. Al mismo tiempo, se abría un grifo que rociaba de agua fría el interior del cilindro **3**, provocaba la condensación del vapor en una pequeña cantidad de agua

y favorecía que la presión externa del aire devolviera el pistón a su lugar de origen. El continuo movimiento del pistón servía para bombear el agua y drenar una mina.



1. Recipiente con agua
2. Válvulas
3. Spray de agua
4. Cilindro
5. Tanque con agua para condensación del vapor agua en el cilindro.
6. Pistón
7. Peso
8. Balancín.

Figura 4.9
Máquina de Newcomen

La primera máquina de Newcomen fue capaz de realizar entre 6 y 8 ciclos por minuto.

La figura 4.10 muestra un modelo de la máquina de vapor de Thomas Newcomen, patentada en 1712, con indicaciones para entender mejor su funcionamiento.

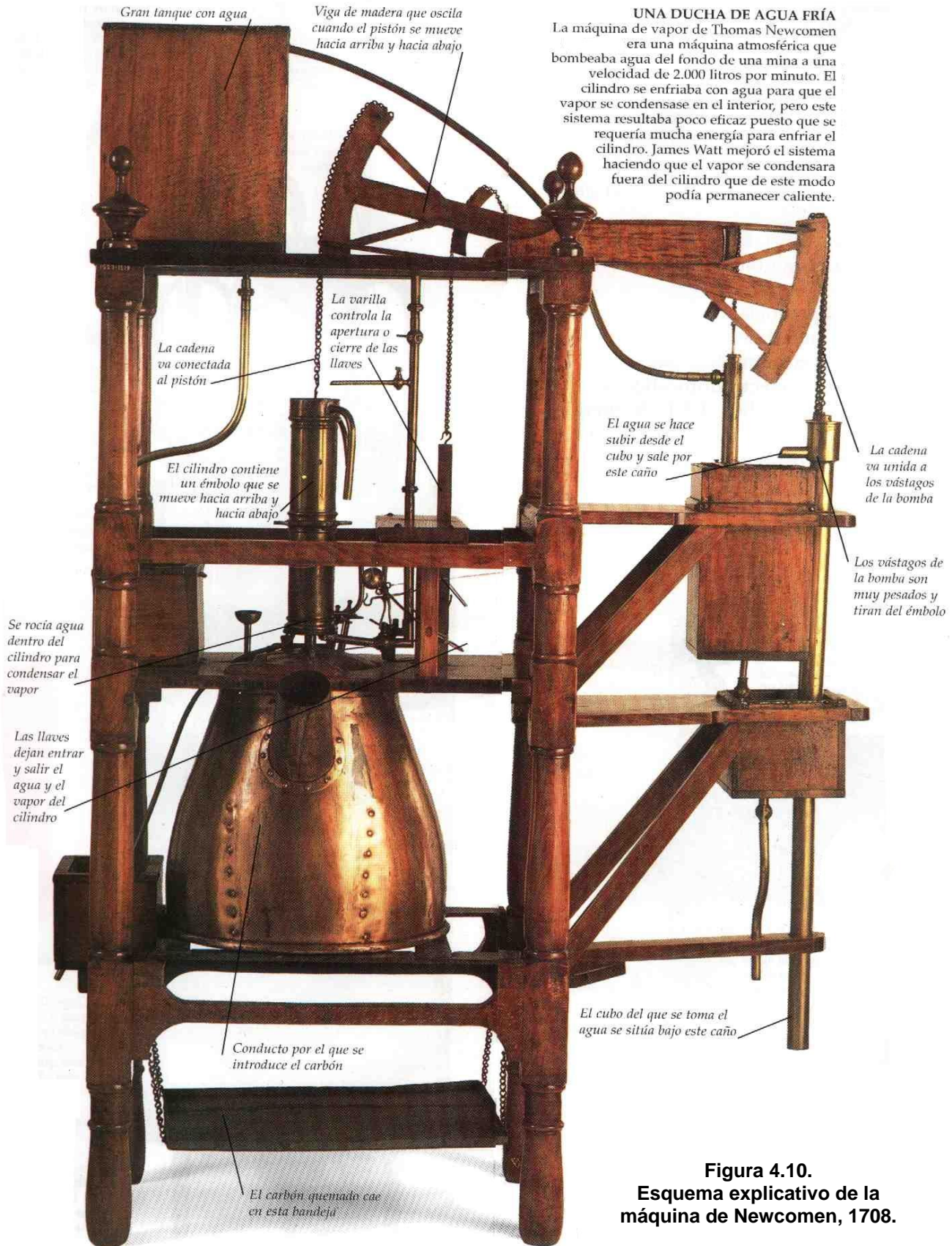


Figura 4.10.
Esquema explicativo de la máquina de Newcomen, 1708.

4.5. EL APORTE DE JAMES WATT

James Watt (1736-1819) (figura 4.11.) fue el pináculo de este periodo de innovaciones en la utilización del vapor para obtención de una fuerza motriz utilizable en labores prácticas. Con la implementación de un condensador en la máquina de vapor de Newcomen, propone en 1765 su propia y revolucionaria máquina, decisiva para las actividades industriales.

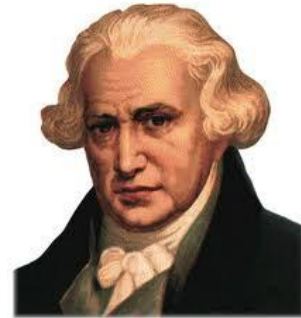


Figura 4.11.
James Watt

Lo anterior se realizó, gracias a que en 1763 llegó a la Universidad de Glasgow un modelo de la máquina de vapor de Newcomen para reparar, a partir del análisis de la máquina de Newcomen, Watt halló los siguientes puntos sobre los cuales trabajar en la mejora de la máquina

1. *La pérdida de calor en el cilindro (construido en cobre), debida a la necesidad de enfriar el cilindro luego de cada recorrido, para producir el vacío.*
2. *La pérdida de potencia, debido a la presión de vapor restante luego de la condensación, que era causado al emplear un método poco eficiente de condensación".*

Luego de estas observaciones, Watt empezaría una serie de experimentos en búsqueda de alternativas para subsanar los anteriores problemas, entre los cuales ensayó con cilindros de materiales no conductores, empleó lubricantes aceitosos para el arreglo cilindro pistón, y llevó a cabo una serie de mediciones de la temperatura y presión del vapor a diferentes valores, incluso por encima de la presión atmosférica, encontrando allí respuesta al segundo punto reseñado

anteriormente, descubriendo que el agua de condensación empleada en el modelo de Newcomen no era suficiente para condensar todo el vapor.

Watt también midió las capacidades caloríficas del hierro, cobre, y algunos tipos de maderas comparadas con las del agua, halló relaciones en volúmenes de una misma cantidad de agua en fase líquida y gaseosa, determinó la presión del agua a diferentes temperaturas mayores a la del punto de ebullición, determinó la cantidad de vapor y de agua de condensación necesarias, para que una máquina de Newcomen funcionará en una forma más eficiente.

Gracias a los anteriores experimentos y haciendo uso de sus conocimientos sobre del calor específico (descrito en la sección 1.4) Watt se daría cuenta de la conveniencia de separar el proceso de condensación del cilindro, ideando el condensador.

Funcionamiento de la máquina de Watt

Al constatar Watt que en la máquina de Newcomen la mayor pérdida de calor se daba por la necesidad de enfriar y luego calentar el cilindro en cada ciclo de ascenso y descenso del pistón, pues al ser de metal tenía un elevado calor específico, propuso la utilización de dos cilindros, uno que se mantenía a la temperatura de funcionamiento de la máquina y otro que permanecía frío, cuando el pistón estaba en la parte más alta de su recorrido, se abría una válvula para que el vapor fluyera al cilindro frío y allí se produjera su condensación y la consecuente generación de vacío necesario para el funcionamiento de la máquina; en la parte inferior del recorrido del pistón, la válvula antes abierta se cerraba y otra se abría para permitir el ingreso de más vapor al cilindro que permanecía caliente y por lo

tanto se garantizaba una mayor eficiencia de la máquina, al no tener que gastar energía en el recalentamiento del cilindro.

A continuación (figura 4.13) se presenta un esquema del funcionamiento de la máquina de Watt.

El agua es bombeada a un calentador (caldera) donde hierve y se evapora, haciendo que aumente la presión del cilindro para empujar al pistón hasta enfriarse a la temperatura y presión del condensador en el cual se condensa y vuelve a ser bombeada para completar el ciclo.

La primera máquina de Watt, abrió la posibilidad en la inquieta mente de su creador, de aprovechar el vapor de agua no sólo en el ascenso del pistón sino también en el descenso, con lo cual propuso su máquina de doble efecto, que se explica en el siguiente párrafo (figura 4.14); esto hace evidente el hecho de que la máquina de Watt (Riera T, 1992) fue la primera en que el trabajo útil era producido por la acción

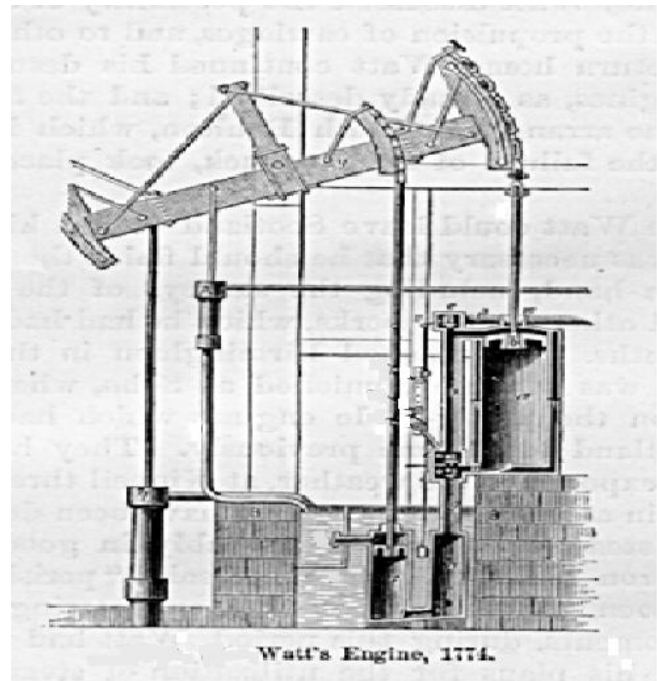


Figura 4.12.
Representación de una Máquina de Watt, 1774

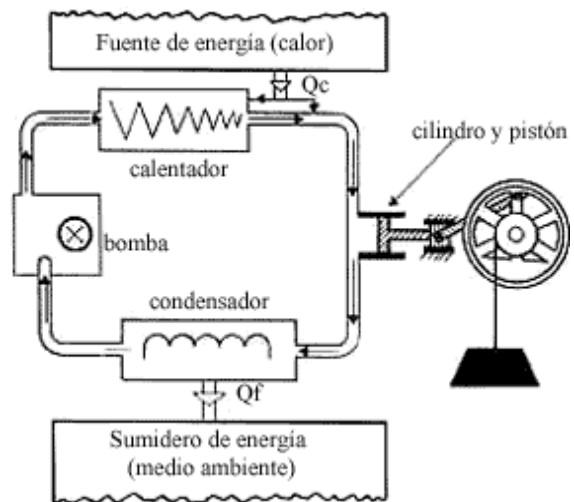


Figura 4.13
Esquema máquina de Watt

directa de la presión del vapor sobre el pistón: en este sentido la máquina de vapor dejaba de ser una máquina atmosférica como habían sido las anteriores.

Máquina de doble efecto de Watt.

La caldera hierve el agua contenida en su interior y cuando la presión del vapor es considerable, la válvula **A** se abre dejando pasar el vapor al cilindro, consiguiendo así desplazar al pistón hacia arriba, debido al aumento de la presión, consiguiendo hacer ascender el balancín; en esta primera etapa las válvulas **C** y **D** permanecen cerradas. Al subir el pistón, las válvulas **A** y **B** se cierran, lo que hace posible que el vapor actúe sobre la parte superior del pistón y producir un doble efecto que otorga un mayor rendimiento en la máquina.

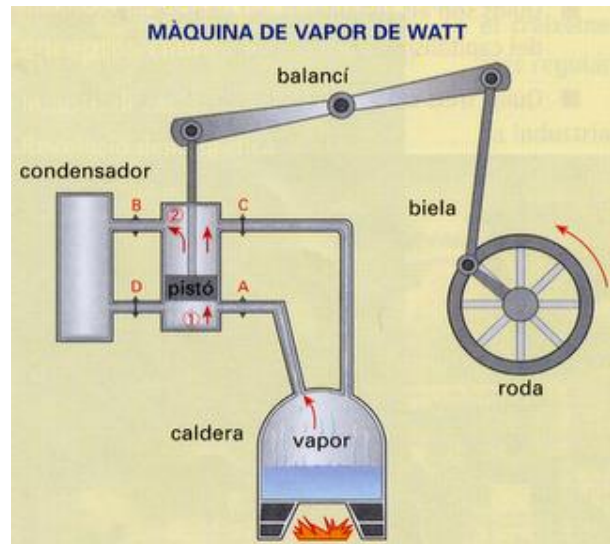


Figura 4.14
Máquina de doble efecto de Watt

La propia inercia del conjunto hace que el sistema alterne las aperturas de las válvulas por la presión, consiguiendo así el doble efecto, donde el vapor y el agua actúan en las dos caras del pistón.

Watt inventó un dispositivo para convertir el movimiento lineal de ida y vuelta en movimiento circular (llamado sistema planetario); con este sistema se podía utilizar la máquina para muchas otras actividades, entre las cuales figuraba el transporte fluvial y terrestre, abriendo el camino a los futuros barcos de vapor y a las

locomotoras. Unido a lo anterior, fue vital la invención por parte de Watt de un sistema regulador de la presión en la máquina de doble efecto, llamado “The governor” el cual hacía uso de la medición de la fuerza centrífuga de un par de esferas conectadas con la rueda giratoria, con lo cual se podía estimar la presión de operación de la caldera, y suspender su operación en la eventualidad de una presión excesiva.

4.6. INFLUENCIA DE LA MÁQUINA TÉRMICA EN LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.

La revolución industrial surge gracias a la combinación de factores tales como:

- El aumento de la población urbana, lo que implicó una mayor oferta de mano de obra en las ciudades, unido a la mejora en las técnicas agrícolas, avances en la salubridad y adelantos en medicina.
- El fortalecimiento de las ciencias puras y experimentales, unido al ingenio en desarrollos técnicos como la máquina térmica y telares eficientes.

La máquina térmica viabilizó a su vez los siguientes logros:

- Mecanización de la industria textil, permitiendo el surgimiento de grandes factorías independientes de fuentes de energía de origen hídrico, animal o humano, cuyas grandes desventajas eran ser puntuales y/o limitadas.
- Desarrollo de la siderurgia, aumentando la producción de hierro con el consecuente avance de instalaciones fabriles para su aprovechamiento y transformación.

- Surgimiento de medios de transporte más eficientes, como el tren y el barco de vapor, medios que posibilitaron un avance sin precedentes en la comercialización de bienes y la movilidad de personas.

Lo anterior fue aprovechado para dar un impulso vital al capitalismo, llevándolo a configurar el capitalismo industrial, que impulsó nuevas formas de concentración de la riqueza a expensas de la mayoría de la población; es decir, surge una nueva e ingeniosa forma de hacer que las bases del esclavismo y el feudalismo parezcan “modernas”.

Las ideas básicas esbozadas en las anteriores líneas permiten concluir que el advenimiento de la revolución industrial, gestada en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII y concluida a mediados del siglo XIX, fue un agente de transformaciones significativas en la humanidad, promoviendo cambios no sólo en la tecnificación y concentración de los procesos productivos sino en otros ámbitos como el social, al generar un desplazamiento de la aristocracia por parte de la burguesía y dar origen al capitalismo industrial y al proletariado urbano. Sin el desarrollo de la máquina térmica muy probablemente otra fuese la historia a relatar.

CAPÍTULO 5

LOS CONCEPTOS DE TRABAJO Y ENERGÍA

Hasta el momento sólo han sido relevantes para el desarrollo de la máquina térmica, los conceptos de presión atmosférica y el vacío, además de una comprensión empírica de la expansión del vapor de agua, por su gran importancia para la generación de trabajo; los conceptos básicos de trabajo, calor y energía no han sido tocados y esto se debe al poco desarrollo conceptual (en la práctica eran trabajados empíricamente) observado en la época que precedió el siglo XIX, sin embargo, estos conceptos pueden esclarecerse a partir del desarrollo de la máquina térmica y sus consecuentes mejoras en busca de una mayor eficiencia.

En 1811, los dueños de minas como la de Cornualles en el Reino Unido, empezaron a publicar informes sobre el rendimiento de sus máquinas, para estimular la creación de otras cada vez más eficientes. Una pregunta estaba en el ambiente ¿existe un límite para la relación de conversión energética en trabajo o será posible el movimiento continuo?

5.1 APORTES A LA TERMODINÁMICA DE NICOLÁS LÉONARD SADI CARNOT

El trabajo de Nicolás Léonard Sadi Carnot (1796-1832) se encaminó a la solución del anterior interrogante, pues por sus experiencias en la industria, intuyó el enorme potencial industrial y económico de la máquina térmica. Carnot planteó el problema en una forma holística, diciendo que debía estudiarse todo el fenómeno de la eficiencia de las máquinas, sin hacer referencia a una máquina, motor o fluido en particular. Este principio lo llevó a escribir su trabajo *Reflections sur la*

puissance motrice du feu et sur les machines propres a developper cette puissance en el año de 1819, que fue publicado en 1824. En él, Carnot sentó las bases de la termodinámica macroscópica, haciendo evidente el hecho de que quienes desarrollaron la máquina térmica lo hicieron sin comprender sus fundamentos teóricos, de manera que los intentos por mejorarla estaban orientados casi en exclusiva por apreciaciones empíricas.

Carnot describió (utilizando la *teoría del calórico* – llamada así por Antoine Lavoisier (1743-1794) - que Black había introducido en 1760) el ciclo energético de una máquina ideal, cuyo rendimiento depende únicamente de la temperatura inicial y final del fluido que impulsa la máquina (vapor o cualquier otro fluido), con independencia de la naturaleza de la misma, dejando claro la imposibilidad de un movimiento perpetuo y poniendo límites a la eficiencia de cualquier máquina térmica que se construyera.

Algunas notas manuscritas de Carnot, redactadas probablemente entre 1830 y 1832, fueron encontradas por su hermano en 1871 y publicadas en 1878. En esas notas se puede comprobar que Carnot abandonó la teoría del calórico en la que creía en 1819, pues escribió (aparte tomado de losimprescindiblesdelaciencia.es):

“El calor no es otra cosa que la potencia motriz o más bien el movimiento que ha cambiado de forma. Es éste un movimiento en las partículas de los cuerpos. Donde quiera que haya una destrucción de potencia motriz, hay, al mismo tiempo, producción de calor en cantidad exactamente proporcional a la cantidad de potencia motriz destruida. Recíprocamente, en cualquier parte en que haya destrucción de calor, hay una producción de potencia motriz. Se puede entonces establecer como tesis general que la potencia motriz es una cantidad invariable en la naturaleza y que hablando con propiedad

no puede nunca producirse ni destruirse. En verdad ella cambia de forma, es decir produce tanto un tipo de movimiento como otro, pero jamás es aniquilada”.

Este párrafo muestra que Carnot, antes de su muerte en 1832, había formulado el principio de la equivalencia entre el trabajo mecánico y el calor.

5.2 DESARROLLO DEL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

Posteriormente, se continuó buscando la relación explícita entre los conceptos de energía y trabajo. Lo más evidente era ligar el calor producido por un cuerpo y el trabajo requerido para producir dicho calor o viceversa. Tal vínculo lo establece Julius Robert Mayer (1814 - 1878) quien, en el año de 1842, escribe: *“El calor producido por un cuerpo debe encontrarse en una relación numérica invariable, con el trabajo necesario para producirlo”*. Esta afirmación, que ya había sido de propuesta por Carnot en las notas que publicó su hermano tardíamente, constituye una forma de expresar la conservación de la energía.

James Prescott Joule (1818-1889) realiza un perspicaz experimento en 1847, con el que logra obtener el equivalente mecánico del calor y el trabajo implicado en un proceso. El experimento consistió en medir el ascenso de la temperatura producida en una cantidad de agua conocida, al actuar en ella unas paletas movidas por un par de pesas que caen desde una altura conocida. Joule calculó el trabajo implicado en el movimiento de las paletas por la caída de las pesas y lo relacionó con el aumento de la temperatura del agua, demostrando que un efecto mecánico puede convertirse en calor.

El experimento de Joule fue subestimado por la mayoría de los científicos de la época, pero no por William Thomson – Lord Kelvin - (1824-1907) y Rudolf Clausius (1822-1888), quienes guiados además por la enunciación de la ley, llamada “principio de conservación de la fuerza” por el fisiólogo alemán Hermann Von Helmholtz (1821-1894), lograron culminar el enunciado del principio de la conservación de la energía. El aporte de Helmholtz consistió en el establecimiento del principio de conservación de la energía mecánica, al decir que la suma de fuerza viva (energía cinética en nuestros días) y fuerza de tensión (energía potencial) en un proceso físico, permanece constante. Por su parte, Lord Kelvin, analizando el experimento de Joule, se pregunta si el proceso contrario es posible: a partir de calor obtener un efecto mecánico. Esta inquietud lo lleva a proponer en 1848 el principio de conservación de la energía; en cuanto a Clausius, conocedor de todos los trabajos de la época sobre energía, calor y trabajo, realizó en 1850 una formulación matemática tendiente a explicar el principio de conservación de la energía.

Lo expuesto hasta ahora permite concluir que los conceptos de trabajo y energía, relacionados en el principio de conservación de la energía, llevaron finalmente a comprender diversos procesos físicos y elementos tecnológicos, como la máquina térmica, que de tiempo atrás venían cambiando el entorno humano con la introducción de nuevas y cada vez más eficientes formas de producción y de transporte. Dicho desarrollo tecnológico originó un cambio de consecuencias insospechadas en la humanidad y sus formas de relacionarse.

CAPÍTULO 6

PERSPECTIVAS DE IMPLEMENTACIÓN PEDAGÓGICA DEL ESTUDIO DE LOS CONCEPTOS DE VACÍO Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA

6.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

El constructivismo⁴ fundamentalmente se ocupa de sentar posición frente al problema del conocimiento, concibiendo al objeto conocido y al sujeto que conoce como entes dependientes y por lo tanto bajo esta mirada, la realidad es en gran medida una construcción humana.

Jean William Fritz Piaget (1896-1980) y Lev Semiónovich Vygotsky (1896-1934) dan sustento al constructivismo (Covarrubias, 2010), la teoría de Piaget hace énfasis en los procesos cognitivos del individuo que son los protagonistas en el proceso pedagógico, mientras que Vygotsky se centra en el aspecto sociocultural, enfatiza la influencia del contexto en la construcción del conocimiento; el contexto es formado por personas, experiencias y demás factores que influyen en la realidad del estudiante.

El constructivismo entonces propone un paradigma, donde el proceso de enseñanza-aprendizaje se sucede como un proceso participativo y dinámico, donde el conocimiento es construido a partir de diversas actividades por el sujeto que

⁴ Una clara descripción del constructivismo y su influencia en la escuela, puede encontrarse en “El legado pedagógico del siglo XX para el siglo XXI”. Editorial Graó. Barcelona.2007

aprende. David Ausubel (1918-2008), uno de los principales precursores del constructivismo, planteó la *teoría del aprendizaje significativo* (iniciada en el año de 1963), la cual amplía la forma como se entiende el proceso de aprendizaje de los estudiantes, y plantea herramientas metacognitivas para conocer sus estructuras cognitivas y, en consecuencia, formular el actuar didáctico de los docentes. El aprendizaje significativo se da cuando un subsunor (concepto relevante pre-existente en la estructura cognitiva de un individuo) sirve de ancla para que una nueva información (usualmente nuevos conceptos, ideas o proposiciones) sea introyectada por el individuo que aprende.

Ausubel resume lo planteado en unas sencillas palabras en el epígrafe de su obra (Moreira, 2003) "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averíguese esto y enséñese consecuentemente". Una premisa básica para que la enseñanza bajo la teoría del aprendizaje significativo sea efectiva, es que el estudiante debe querer aprender lo enseñado. Sin esta condición, el trabajo no será efectivo; así, el maestro debe ser un buen motivador, para cautivar la atención de sus estudiantes.

La teoría del aprendizaje significativo, cuyos rudimentos fueron esbozados en los anteriores párrafos, será el sustento teórico, desde el punto de vista de la didáctica, para plantear las diversas actividades tendientes a hacer accesibles los conceptos de vacío y presión atmosférica a un determinado grupo de estudiantes de física básica.

Se plantea el trabajo a partir de una prueba inicial, donde el objetivo primordial es conocer los preconceptos sobre expansión del vapor, presión atmosférica y el vacío

que el estudiante tiene; a este trabajo, seguirá la realización de un serie de experimentos básicos mostrados por el docente, seguido esto de la discusión sobre los mismos y la consecuente realización de los mismos experimentos por parte de los estudiantes; luego se realizará otra serie de experimentos un poco más elaborados, donde al estudiante le corresponde escribir sus impresiones respecto de lo realizado, mostrando como es la percepción que él en este momento tiene del fenómeno o fenómenos físicos que intervienen en cada experimento; la prueba inicial será repetida luego de este proceso, permitiendo con esto determinar si la intervención realizada surtió efecto o si debe repensarse el trabajo, al evaluar los posibles errores cometidos, a partir de las respuestas dadas por los estudiantes. Es importante recalcar aquí que el docente es un mediador para el proceso de aprendizaje de sus estudiantes y no ha de abandonarlos a su suerte, esperando que resuelvan todos los interrogantes ellos mismos sin ayuda alguna.

El paso final del trabajo estará dirigido a comprender como fue el desarrollo histórico de los conceptos estudiados, teniendo presentes los avances de la máquina térmica en el tiempo, en este punto lo básico es que los estudiantes realicen una lectura de los anteriores cinco capítulos y planteen sus percepciones sobre lo leído, trayendo a colación la pertinencia o no del trabajo realizado hasta el momento, para poder comprender los conceptos básicos que dieron origen a la máquina térmica y la importancia de esta en el desarrollo de la humanidad en los últimos doscientos años.

6.2 ACTIVIDADES TENDIENTES AL AFIANZAMIENTO DE LOS CONCEPTOS DE VACÍO Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA,

6.2.1 Prueba inicial

Esta prueba es sencilla, sólo pretende determinar los preconceptos de los estudiantes; se divide en dos partes, la primera es de selección múltiple y la segunda, pretende buscar respuestas coherentes con sus preconceptos y resaltar sus capacidades argumentativas.

1. La olla a presión convencional tiene una válvula (que presenta un sonido peculiar cuando se levanta), dicha la válvula se levanta debido a que:

A. El vapor de agua contenido en la olla se expande -debido a la energía en forma de calor cedida por la estufa-, hasta alcanzar la energía suficiente para levantar la válvula y salir con su peculiar sonido.

B. La olla se calienta debido a la energía cedida en forma de calor por la estufa y esto hace que la válvula se levante.

C. La presión en la olla se torna muy alta al cocinar en ella y por lo tanto, esta presión hace que se levante la válvula.

2. ¿La atmósfera pesa?

A. No, como ha de pesar; no sentimos su efecto sobre nuestros cuerpos.

B. Si pesa, una prueba de esto es que en los partidos de fútbol, mientras más alta la ciudad donde se juega, más ligera se vuelve la pelota.

C. La atmósfera está compuesta por una mezcla de varios gases y estos gases al poseer masa, son atraídos gravitatoriamente hacia el centro de la tierra, por lo tanto la atmósfera pesa.

4. Si usted se sumerge 1000m en el mar, posiblemente:

A. Todo marchará bien, siempre y cuando se lleve el equipo adecuado de buceo.

B. No sucederá nada al cuerpo porque aunque la presión aumenta, nuestros cuerpos son resistentes a la presión del agua.

C. Su cuerpo colapsaría debido a la gran presión ejercida por el agua, no importando los equipos de buceo adecuados.

5. La dificultad extrema para desarrollar actividades sencillas como caminar o respirar en altas montañas (alturas superiores a 5000m), puede asociarse a:

A. La falta de preparación física de quien realiza alguna actividad en alta montaña, sumado a la baja presión atmosférica en las alturas.

B. El enrarecimiento del aire (se hace menos denso) a medida que se asciende en la atmósfera, manifestado en la falta de oxígeno en el aire de las montañas, lo que dificulta el adecuado funcionamiento del organismo.

C. El descenso en la presión atmosférica, lo cual ocasiona dificultad extrema para actividades físicas básicas.

6. Un tubo de luz blanca tradicional, se dice que implota al romperse y no que explota; este nombre se refiere al hecho de que:

A. El gas contenido en el tubo está a mayor presión que la atmosférica.

B. El gas contenido en el tubo está a menor presión que la atmosférica.

C. El gas contenido en el tubo está confinado a una presión igual que la atmosférica.

7. ¿Qué significa el hecho de un alimento estar empacado al vacío?

A. Estar rodeado por la nada, es decir, carecer de algún elemento físico a su alrededor, lo que garantiza su buena calidad por más tiempo.

B. Estar empacado, habiendo sido retirado el aire de su interior, lo que garantiza su buena calidad por más tiempo.

C. Estar aislado del ambiente exterior por medio de un empaque, que permite la extracción del aire circundante al alimento, garantizando la buena calidad del alimento por más tiempo.

8. ¿Por qué el efecto de la presión atmosférica sobre nuestros cuerpos no se manifiesta como un aplastamiento?

A. porque la atmósfera no ejerce fuerza alguna sobre nosotros, por lo tanto si no ejerce fuerza, no puede aplastarnos.

B. La presión atmosférica se ejerce uniformemente por toda la superficie de nuestro cuerpo, lo que garantiza la no existencia de una fuerza neta que pueda aplastarnos.

C. Nuestros cuerpos evolucionaron bajo el efecto de la presión atmosférica, por lo cual éstos poseen una presión interna que la contrarresta, logrando un vital equilibrio.

9. Un globo inflado con helio asciende al soltarlo; ¿qué le sucederá luego de un tiempo cuando esté a una gran altura?

A. El globo se desinfla paulatinamente porque mientras más se asciende en la atmósfera, menor es la presión que actúa sobre el globo.

B. El gas contenido en el globo se expande a medida que asciende y la presión atmosférica disminuye, lo cual ocasiona una explosión del globo.

C. El globo asciende hasta alcanzar una altura máxima, luego simplemente es desplazado por el viento hasta que algún evento sucede y la rompe.

10. Describa el funcionamiento de una bomba casera para desatorar cañerías.

11. Proponga una definición adecuada para presión atmosférica.

12. El vacío según su percepción puede definirse como:

13. Según sus conocimientos, cómo puede ser explicada la expansión del vapor de agua.

14. ¿cómo explicaría usted el hecho de que una jeringa pueda llenarse?

15. Proponga una explicación para que una ventosa de plástico o chupón pueda quedar adherida al vidrio de una ventana.

6.2.2 Experimentos básicos, tendientes a llamar la atención de los estudiantes.

Los experimentos propuestos en esta parte del trabajo, son de conocimiento generalizado en la comunidad educativa de física, la pretensión con que se usan es llegar a cautivar a los estudiantes, para que con un poco de curiosidad puedan ir avanzando en la construcción de los conceptos de vacío y presión atmosférica, así como el entendimiento de lo que es la expansión de un gas o del vapor de agua;

otra finalidad de los experimentos es dar luces para responder en una forma adecuada a las preguntas planteadas en la prueba inicial, tras el refinamiento de los conceptos implicados en ellas.

La forma como se proponen las siguientes experiencias, en primera instancia son demostrativas, el profesor muestra a toda la clase las experiencias y las comenta brevemente, luego el turno es para los estudiantes que tendrán la oportunidad de reproducirlas, para finalmente en un conversatorio discutir lo sucedido y las posibles explicaciones.

A. El agua no cae.

Se toma un vaso de vidrio y luego de llenarlo con agua, se tapa con un trozo de cartulina o papel, se invierte el vaso y al retirar la mano con que se sostiene la cartulina o papel, se puede observar que el agua no se derrama.

B. Expansión del vapor: con globo y botella.

Se calienta agua en una botella fácilmente deformable de boca estrecha, luego se vacía la botella y se coloca bien ajustado un globo en su boca; cuando la botella empieza a enfriarse, el globo se introduce en la botella, si se calienta nuevamente la botella, el globo volverá a su estado inicial, es decir fuera de la botella.

Otra forma de mostrar la expansión del vapor en una forma simple, es la condensación de vapor en una botella de plástico fácilmente deformable y cerrada, consistente en hacer ingresar vapor de agua en la botella, haciendo uso de un recipiente de boca estrecha para hervir agua como un erlenmeyer, matraz o balón y así poder hacer ingresar el vapor a la botella; luego del ingreso del vapor a la botella, se tapa y procede a enfriar con agua, para posteriormente observar el efecto: la botella se comprime.

C. Regla que no cae

Básicamente se toma una regla clásica de 30cm, se ubica sobre una mesa haciendo que más de la mitad de la regla esté sustentada por la mesa (figura 6.2) y luego con una hoja grande de papel (puede ser periódico) se tapa la parte de la regla que está sobre la mesa, para posteriormente dar un golpe a la regla que sobresale de la mesa y registrar lo que ocurre.

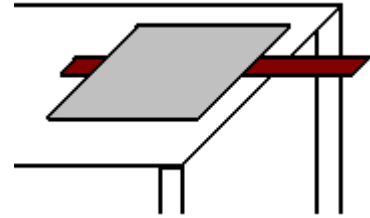


Figura 6.2

D. Hemisferios poco fáciles de separar

Dos bombas para desatorar cañerías se superponen (figura 6.3), haciendo un



Figura 6.3

esfuerzo para que se unan y luego tratar de separarlas, es una demostración sencilla del experimento de Magdeburgo, realizado por Von Guericke.

6.2.3 Experimentos, tendientes a inquietar y posibilitar respuestas y argumentaciones respecto a los conceptos estudiados.

A. La expansión del vapor

Herón de Alejandría marcó el inicio de las aplicaciones tecnológicas del vapor de agua con la Eolípila. En esta máquina se aplica la expansión del vapor para aprovecharlo en la propulsión de una esfera, como se describió en la sección 2.1.4. Aprovechar la expansión del vapor de agua fue la constante para los nuevos experimentadores en el camino hacia la consolidación de una máquina térmica práctica. Vimos entonces como personajes de la talla de Jerónimo de Ayanz y

Beaumont, Juan de Escrivá, Giovanni Battista della Porta, Salomón de Caus, Giovanni de Branca, Pedro Juan de Lastanosa y Denis Papin, utilizaron la expansión del vapor en sus propuestas de artefactos tendientes a comprender la naturaleza del vapor o en la formulación de una máquina térmica práctica, generalmente propuesta para resolver problemas inherentes al desagüe de minas o el ascenso de agua a edificios.

Lo anterior hace pensar en introducir un modelo didáctico, para hacer evidente el funcionamiento de una máquina térmica básica, la cual utiliza el vapor de agua para lograr hacer ascender agua. Sin embargo en este momento los estudiantes no habrán tenido a su disposición la información de los anteriores cinco capítulos, por lo cual quien dirige la práctica mencionará sólo lo necesario para dar un sentido a la práctica y prepararlos para pensar en la utilidad que tienen los modelos que se plantearán, para entender lo que luego conocerán como la máquina térmica.

Modelo de una máquina térmica básica

1. Beaker de 1000ml (actuará como depósito final del agua)
2. Balón o matraz de 1000ml (hará las veces de caldera).
3. Erlenmeyer de 1000ml con desprendimiento lateral
4. Tres válvulas o llaves de paso.
5. Tubo de Conexión en Y
6. Tubo de conexión en L.

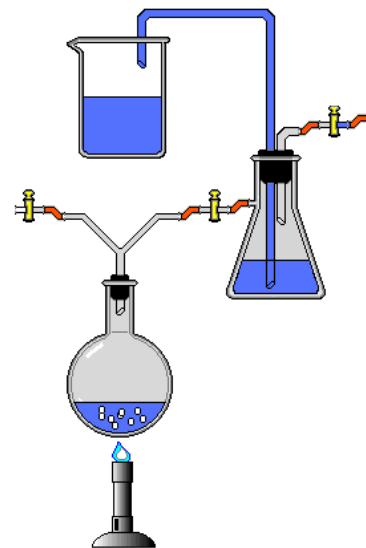


Figura 6.4
Modelo máquina térmica
básica

7. Un tubo recto.
8. Tubo de goma con diámetro adecuado para hacer las conexiones requeridas entre los tubos de conexión y las válvulas o llaves de paso (5 trozos).
9. Dos corchos adecuados al matraz o balón y al erlenmeyer.
10. Un calentador, que puede ser una hornilla si se utiliza para el experimento un matraz o un mechero si se usa un balón
11. Soporte universal, pinzas de soporte y nueces necesarias para estabilizar el sistema.

El montaje para la práctica es como el ilustrado en la figura 6.4; debe trabajarse con gafas y ropas que protejan de una posible explosión del sistema. Por la ausencia de un barómetro, el sistema posee una válvula para liberar la presión, pero el experimentador puede no tener la suficiente perspicacia para abrirla en el momento adecuado.

La finalidad de la práctica es que los estudiantes que la realicen, comprendan el poder de la expansión del vapor, al ver como el agua asciende debido a su efecto y logren entender en forma global el funcionamiento de las máquinas de vapor que utilizaron el método estudiado en la experiencia de laboratorio. La práctica está pensada para no tener instrucciones en su realización, se dejará a los estudiantes que experimenten con el ensamble y puesta en marcha del montaje, esto garantiza el hecho de la existencia de posibles problemas correspondientes a malos acoples y la consecuente pérdida de presión, entre otras dificultades.

La anterior emulación del funcionamiento de una máquina térmica en el laboratorio deberá ser antecedida de una serie de preguntas, tendientes a conocer los preconceptos o subsunores que poseen los estudiantes, que van más allá de las realizadas en la prueba inicial y preferiblemente en forma de discusión en grupo.

Esta etapa es básica si se quiere plantear un proceso desde el punto de vista del aprendizaje significativo que es lo pretendido en el presente ejercicio.

Las posibles preguntas a plantear son:

- ¿Cuál sería una buena descripción de la expansión del vapor de agua?
- Conocen ejemplos del aprovechamiento de la expansión del vapor de agua o de un gas cualquiera en la cotidianidad; explique los ejemplos según su percepción recalcando la expansión aludida.
- ¿Qué será y cómo funcionará una caldera; sabe alguna de sus aplicaciones prácticas?
- El hecho de inflar un globo tendrá alguna relación con el anterior experimento, desde el punto de vista de la expansión del vapor.

Luego de ser cuestionados los estudiantes, sólo queda realizar el experimento y luego volver a realizar las preguntas, esperando obtener unas respuestas donde la claridad conceptual sea protagonista.

Modelo de la máquina de Savery

La expansión del vapor y el vacío serán trabajados con este modelo que guarda similitudes con el anterior en la primera parte de su funcionamiento, pues la segunda consiste en la generación de vacío, por efecto de la condensación del vapor de agua en el cilindro, al rolearlo con agua, luego de que esté vacío.

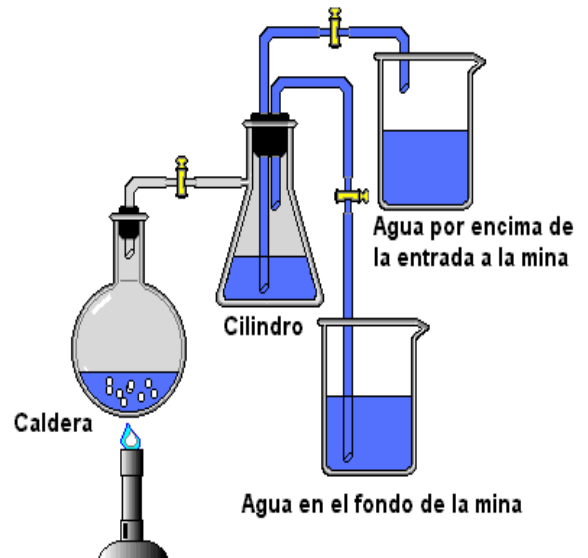


Figura 6.5
Modelo máquina de Savery

El montaje (figura 6.5) es muy parecido al planteado en la anterior experiencia, la única diferencia fundamental es la introducción de un beaker que representará el agua en el fondo de la mina y estará unido al depósito temporal de agua por un conducto mediado por una válvula.

Igual que en la anterior propuesta de experimento, se dará libertad a los estudiantes para la realización de la experiencia; es preciso hacer claridad en este punto sobre el permanente acompañamiento por parte del docente en la práctica, por si surgen inquietudes dar una guía básica sobre el que hacer.

Esta experiencia puede ser un poco complicada, pues debe tenerse presente abrir y cerrar las válvula adecuadas para la obtención de buenos resultados, además de estar pendientes de enfriar el recipiente denominado en el gráfico como cilindro, para producir el vacío requerido; por lo tanto una actividad extra que deberán hacer, es construir una guía de funcionamiento de la máquina, donde den cuenta del proceso adecuado del manejo de la máquina y expongan sus conclusiones a partir de lo realizado.

B. El vacío y la presión atmosférica

Lo siguiente sería preguntarse sobre los fundamentales conceptos de vacío y presión atmosférica, para tal situación se plantearía a los estudiantes interrogantes extra a los ya planteados o que redundan en lo planteado anteriormente, para poder crear conciencia sobre lo que se quiere lograr entender con el trabajo que se está desarrollando.

Interrogantes básicos a plantear.

- Con lo hecho hasta el momento puede usted aventurarse a dar una definición del vacío

- Ve ejemplos de la aplicación del vacío en la cotidianidad; describa estos ejemplos.
- ¿Conoce alguna o algunas formas de hacer vacío?, describa dicha o dichas formas?
- Luego de los experimentos y reflexiones iniciales, podría proponer una definición para presión atmosférica.
- ¿Podría usted saber si la presión atmosférica realmente actúa sobre todo lo que nos rodea y sobre nosotros mismos? Explique, tratando de usar los resultados vistos hasta el momento en el laboratorio.
- Usted compra un paquete de papitas (bien sellado) en La Pintada, de camino hacia el Nevado del Ruiz; ¿Qué cambio presentará el paquete de papitas cuando pretenda abrirlo a 5000m de altura?

Luego de resueltas y discutidas en grupos estas interrogantes se procede con la realización de tres experiencias básicas para el entendimiento de los conceptos en cuestión, las experiencias propuestas son:

Diferentes pruebas con una campana de vacío.

Las pruebas serán:

A. Globo totalmente cerrado y con un poco de aire en su interior, el cual es ingresado en la campana de vacío, para ver el efecto que genera el hecho de retirar el aire de la campana en el globo.

B. Ingresar agua tibia en la campana de vacío, para observar el efecto que en el agua genera retirar el aire de la campana.

C. Comparar el tiempo que tarda en evaporarse 1ml de alcohol que está en la campana de vacío y otro que está fuera de ella.

En este punto resulta interesante indagar sobre lo que piensan los estudiantes, respecto al efecto que la ausencia de la presión atmosférica causa en cada prueba; los estudiantes podrían ser instados a aventurar una explicación coherente sobre lo sucedido en cada caso, en forma individual y luego colectiva.

Construcción de un barómetro de mercurio en el laboratorio.

Esta experiencia clásica, tratará de interrogar más a fondo los conceptos de presión atmosférica y de vacío en el imaginario de los estudiantes, la experiencia específicamente se plantea con las siguientes actividades.

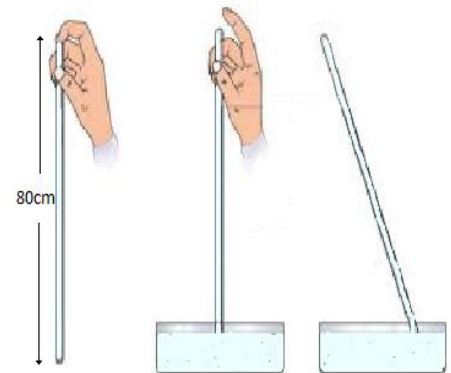


Figura 6.6

A. Tomar un tubo de vidrio de 80cm (figura 6.6) de longitud y cerrado en uno de sus extremos, llenarlo con agua y posteriormente invertirlo sin dejar escapar el agua, paso seguido sumergirlo en un recipiente lleno de agua y describir lo que sucede; las preguntas problematizadoras a realizar en este momento serán:

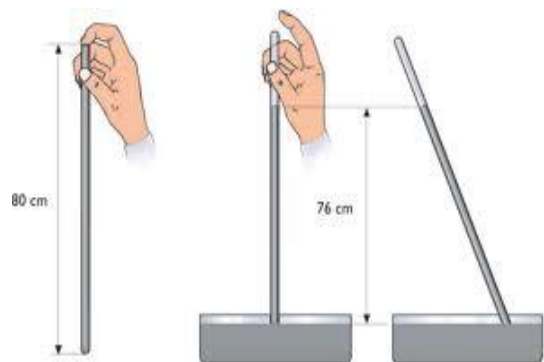


Figura 6.7
Barómetro de Mercurio

* ¿Porqué el agua no abandona el tubo si ya no se está soportando su peso con el dedo?
Brinde una explicación de acuerdo a sus

conocimientos.

*¿Cuál fuerza o qué situación física causará que el agua no salga del tubo, es más que ni siquiera descienda un poco?

B. Repetir la anterior experiencia, teniendo presente que ahora el líquido a utilizar es Mercurio; algunas preguntas válidas tras la realización de la experiencia serán.

* ¿Cuál es la altura de la columna de Mercurio que hay en el tubo?

* ¿Qué piensa usted de que la columna de Mercurio observada sea de diferente longitud que la del agua en el anterior experimento

* Proponga una explicación sobre el hecho de que el mercurio descendió, dejando un espacio libre en el tubo.

* ¿Qué habrá en el espacio desocupado del tubo?; explique y justifique su respuesta.

Representación de la fuente de Herón

En esta experiencia trata de indagarse sobre la capacidad de la presión atmosférica para generar un efecto vistoso como el utilizado por Herón en su fuente; el análisis en este momento, estudiada previamente la expansión del vapor y la presión atmosférica, debería poder ser abordado por un estudiante que haya realizado las anteriores pruebas aplicadamente y formular una explicación válida al fenómeno.

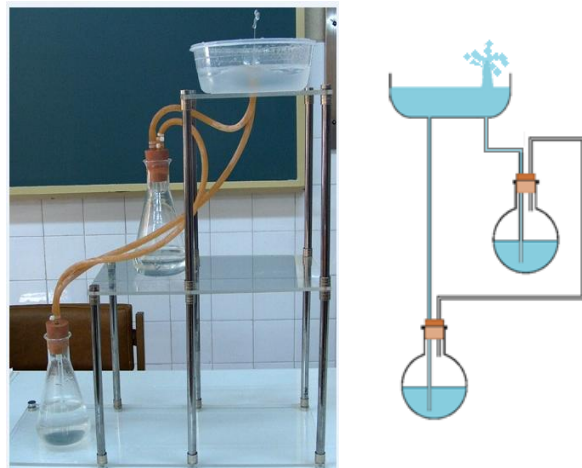


Figura 6.8
La fuente de Herón

Procedimiento para realizar la fuente de Herón.

Realizar el montaje como se muestra en la figura 6.8, pueden ser utilizados elementos reciclables como botellas de plástico, unidas adecuadamente con mangueras y teniendo presente que los empalmes en los tapones deben estar cerrados herméticamente, utilizando para tal fin plastilina o silicona; debe asegurarse para el inicio de la experiencia que el recipiente intermedio esté lleno de agua y el de abajo vacío; para que la fuente funcione hasta observarse el efecto de un surtidor en el recipiente superior, debe echarse agua en el recipiente superior y esperar el efecto, cualquier fuga de aire en los empalmes hará que el montaje no funcione adecuadamente.

Luego de realizadas todas las experiencias se propone un conversatorio donde los estudiantes aporten sus ideas respecto a lo que observaron, buscando llegar a conclusiones válidas sobre lo que es el vacío y la presión atmosférica.

Tras una lectura juiciosa de los capítulos precedentes y la realización de las actividades planteadas, muy seguramente un estudiante motivado que desarrolló todas las actividades, quedará como mínimo con unos preconceptos fuertes sobre lo que es la presión atmosférica y el vacío, lo cual le posibilitará entender el devenir histórico del desarrollo de la máquina térmica, pues como quedó claro en el texto propuesto, no fue necesario comprender a cabalidad por parte de los desarrolladores de la máquina térmica, todos los conceptos que se implican en su desarrollo, desde un punto de vista teórico.

La justificación pedagógica de tratar de enseñar los conceptos básicos vinculados al desarrollo de la máquina térmica, pasan por comprender en primera instancia la relevancia que tuvo la máquina térmica en el desarrollo de la sociedad industrial que ahora nos acoge y las implicaciones en el surgimiento de nuevas leyes físicas como el principio de conservación de la energía; por lo tanto, si en un estudiante se da la comprensión holística de las implicaciones que trajo el desarrollo de la máquina térmica para la humanidad, su paso por el sistema educativo y especialmente por la clase de física quedará justificado.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Irrumpir con nuevas ideas el quehacer pedagógico es la tarea fundamental de todo profesional de la educación, la propuesta hecha en el presente trabajo va por esta línea de pensamiento e invita a utilizar la historia de las ciencias o de algún desarrollo particular de un elemento tecnológico, como una metodología válida para entender el devenir histórico de conceptos vitales, que forjaron la sociedad científica actual.

La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel tuteló la reflexión pedagógica, en torno al planteamiento de cómo dar a conocer los conceptos de presión atmosférica y vacío a un grupo de estudiantes; esta teoría de corte constructivista, permite libertad para actuar en las aulas y lo más importante, a partir de unos pasos básicos bien planeados, dota al estudiante de poder en el aula, el poder de guiar su proceso de aprendizaje, el poder de no ser más un sujeto pasivo en su proceso de formación. Otra característica relevante del aprendizaje significativo es que da al docente la oportunidad de realmente conocer a sus estudiantes, a partir de diferentes manifestaciones de sus avances en el conocimiento de una temática particular, estas manifestaciones pueden ser evidenciadas por el carácter abierto al diálogo de las reuniones de clase, donde el estudiante muestra sus avances no sólo en una fría prueba escrita sino también en sus diálogos, producciones escritas y demás muestras de creatividad que son posibilidades en el aprendizaje significativo.

Importante reseñar que el fin último pretendido fue el de dotar a los estudiantes, a partir de la intervención pedagógica, de unos conceptos y elementos básicos, para

entender el porqué del desarrollo frenético que presentó la ciencia y la tecnología desde el siglo XVII y XVIII hasta nuestros días.

El trabajo no está terminado, sólo se planteó una posible intervención pedagógica, tras el recuento histórico de los hechos que posibilitaron la revolución industrial, dicha intervención debe hacerse real y así poder evaluar si el material planteado surte los efectos esperados o si por el contrario debe replantearse, siendo más inteligente la propuesta al entender el resultado obtenido de los estudiantes ante lo que se les presenta; de todas forma el primer paso está dado y es por todos sabido que la tarea del docente es de nunca acabar, pues siempre surgen nuevos retos y formas de cautivar el espíritu altivo de los estudiantes.

Ahora la formulación de varias inquietudes acogen, tal vez, nuevas ideas a desarrollar y pensar a futuro.

- Será que el estudio del desarrollo histórico de un concepto, tema o situación particular, si logra cautivar los estudiantes y llevarlos a enfrentar en forma eficaz el aprendizaje de una temática.
- Partir de lo particular (los conceptos) a lo general (comprensión del devenir histórico de la máquina térmica y sus consecuentes resultados) será la mejor forma para abordar el estudio de conceptos básicos como presión atmosférica, el vacío, el trabajo y la energía. Proponer lo inverso puede resultar cautivante.
- ¿Cómo vincular el desarrollo de prácticas pedagógicas basadas en la teoría del aprendizaje significativo u otras formas del constructivismo como el aprendizaje activo, en nuestros colegios y escuelas de carácter público?, escuelas y colegios que parecen sumidos en el letargo de la enseñanza tradicional, que difícilmente transforma realidades hoy día.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COVARRUBIAS Díaz, Aaron. Propuesta curricular de un diplomado propedéutico *e-learning de inglés*: una aproximación al constructivismo. Tesis. México. 2010. (20 a 30pp)
- GECEM, Grupo. Unidades Didácticas en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Litoimpresos Ltda. Medellín. 2010. (135, 136pp). Volumen II.
- GRIBBIN, John. Historia de las ciencias: 1543-2001. A&M Gràfic. Barcelona. 2006. (209 a 216pp).
- MEGINO Rodríguez, Carlos. Taula, quaderns de pensament. Universitat de les Illes Balears. Palma (Illes Balears).2001. (19 a 35pp).
- MENESES Ramírez, Erick Alejandro. Montaje de prácticas sobre máquinas térmicas y análisis histórico de las mismas entre los siglos XVIII Y XIX. Tesis de grado, universidad Nacional de Colombia. Medellín.2000. Capítulos 2, 3, 4.
- MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizaje significativo: teoría y práctica. A. MACHADO LIBROS, S.A. Madrid. 2003. (9pp).
- PAPP, Desiderio. Historia de las ciencias: Discípulos de Galileo: Alcances del método experimental. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile.1996. (141 a 144pp).
- RIERA, Tuèbols, Santiago. Tecnología en la ilustración. Ediciones Akal S.A. Madrid. 1992. (22pp). Volumen 34.
- SILVA Otero, Aristides; MATA de Grossi, Mariela. La llamada revolución industrial: siglos XVIII y XIX. Editorial texto. Caracas. 2005. (15 a 22pp).
- TRILLA J (coordinador). CANO E. El legado pedagógico del siglo XX para el siglo XXI. Editorial Graó. Barcelona.2007. (179 a 187pp).

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:j7I7YuwLLfwJ:www.losimprescindiblesdelaciencia.es/artreclvm/41.pdf+%E2%80%A2+http://www.losimprescindiblesdelaciencia.es/artreclvm/41.pdf.&hl=es&gl=co&pid=b1&srcid=ADGEESg8Rf6X2W_S0fKzXOqeVEZZ36cPnwSPhIoheXFUacv7nlSJ9xcyj7-KZEkeGLS2-IBvdaC15GT6KY4wvwd7yfFyTozIfhh6BeJ6kijZug8Hba2qJ4bpMYH8sHShybYVpdYThaH-&sig=AHIEtbSza6zBhIWIBck_NzaMZqPC1979bg
11 febrero de 2012.
- <http://www.tfo.upm.es/ImperialismoWeb/MarquesWorcester.htm>.
11 febrero de 2012.
- <http://www.history.rochester.edu/steam/dircks/HIS111chap2.html#551>.
11 febrero de 2012
- <http://www.egiptomania.com/ciencia/pneumatica.htm>.
11 febrero de 2012
- <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/ficherospdf/historiacienenergia-calor.pdf>.
11 febrero de 2012
- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm.
11 febrero de 2012
- http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0314-01/la_maqva.htm.
12 febrero de 2012
- [http://www.loreto.unican.es/IES2005/03IES\(Savery\).pdf](http://www.loreto.unican.es/IES2005/03IES(Savery).pdf).
12 febrero de 2012

- <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/ficherospdf/historiacienenergia-calor.pdf>.
12 febrero de 2012
- <http://books.google.com/books?id=Gi4VjrdODdYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
12 febrero de 2012
- <http://books.google.com/books?id=KFEvYPsc5IMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
12 febrero de 2012
- <http://books.google.com/books?id=IJJcF1oqP5wC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
14 febrero de 2012
- <http://books.google.com/books?id=-RwQ-pvKMzC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
14 febrero de 2012
- <http://books.google.com/books?id=1rIBBXQhmCwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
14 febrero de 2012
- <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia44/HTML/Articulo08.htm>.
14 febrero de 2012
- <http://es.scribd.com/doc/6941561/100-experimentos-sencillos-de-fisica-y-quimica>.
14 febrero de 2012
- <http://www.periodismo.uchile.cl/cursos/psicologia/constructivismo.pdf>.
14 febrero de 2012

<http://www.experimentoscaseros.org/2010/10/la-fuente-de-heron.html> 14 febrero de 2012.