



Jerónimo de Ayanz y la Máquina de Vapor: Contribución Española al Desarrollo Tecnológico en el Renacimiento

Francisco Rubio¹, Carlos Llopis-Albert¹

¹ Instituto Universitario de Ingeniería Mecánica y Biomecánica (I2MB). Universitat Politècnica de València, frubio@mcm.upv.es; cllopisa@upvnet.upv.es

RESUMEN

Este trabajo reivindica una parte olvidada de la historia de la ingeniería: el papel pionero de España en el desarrollo de la máquina de vapor durante los siglos XVI y XVII.

A finales del siglo XV e inicio del XVI tuvieron lugar dos acontecimientos que cambiaron la historia del mundo conocido: el descubrimiento de América y la primera vuelta al mundo.

España fue su impulsor y la nación que lideraba el desarrollo de los acontecimientos en torno a esos eventos. Durante aquel periodo se daba el caldo de cultivo, que solo se da en sociedades avanzadas y solventes, necesario para alcanzar las más altas cotas de desarrollo intelectual y artístico. En pleno Siglo de Oro, España se consolidaba como la mayor potencia mundial, y no solo lideraba la expansión geográfica y el comercio global, sino también los avances tecnológicos.

El periodo del Renacimiento español fue cuna de genios en las artes y las ciencias, y proporcionó un entorno ideal para el florecimiento de innovaciones mecánicas y científicas.

Una figura clave en este desarrollo fue Jerónimo de Ayanz, un ingeniero visionario que patentó una de las primeras aplicaciones industriales de la máquina de vapor para la extracción de agua en minas. Es necesario resaltar la importancia que la máquina de vapor tuvo como motor de la Revolución Industrial dos siglos más tarde (s. XVIII).

Este artículo reivindica el legado español en la evolución de las tecnologías que dieron forma al mundo moderno, con especial énfasis en las contribuciones tempranas de España al desarrollo de la máquina de vapor.

Aunque la historia ha otorgado el reconocimiento de la máquina de vapor como precursora de la Revolución Industrial a otros países y personajes, este trabajo reivindica reconsiderar y poner en valor el impacto que tuvo España en el progreso tecnológico de la época, abriendo un espacio para reconocer su influencia en la ingeniería mecánica.

A través de una revisión histórica rigurosa y el análisis de fuentes documentales, este artículo ilumina el papel de la España renacentista como precursora en la evolución de las máquinas de vapor, contribuyendo de manera significativa al avance de la ingeniería, mucho antes de que nacieran los personajes hoy acreditados con este logro.

De forma específica queremos reconocer el trabajo realizado por Jerónimo de Ayanz, enfatizando su contribución al nacimiento de la máquina de vapor para usos industriales.

1. La ciencia en España en el siglo XVI y XVII

El imperio que se estaba forjando en España a raíz de la unificación del Estado, el descubrimiento de América y la primera vuelta al mundo, necesitaba de los saberes de la época (lo que ahora llamaríamos ciencia y tecnología) para desarrollarse y crecer.

Felipe II adoptó desde el principio una profunda labor de mecenazgo para que el conocimiento creciera y evolucionara en España. Ese estímulo al saber y al conocimiento desembocaría con los años en un auge del saber y de la técnica que se expandió por toda Europa, y ayudó a sentar las bases de la ciencia moderna [1].

A partir de los privilegios de invención (instituidos por los reyes católicos, las actuales patentes) solo se financiaba la ciencia basada en experimentación y en resultados. Se desechaban directamente aquellos proyectos especulativos. Aquello estimulaba la creatividad de artesanos, ingenieros y arquitectos. Además, se generó un marco que permitió el desarrollo de disciplinas como el arte de navegar, la cartografía, la cosmología, la filosofía natural, la historia natural y la medicina.

La monarquía en España se rodeó de personajes de todas partes de Europa: acuñadores y ensayadores alemanes, alquimistas flamencos, italianos, alemanes e irlandeses; destiladores flamencos e italianos; cartógrafos flamencos; jardineros italianos, flamencos, franceses e ingleses; astrónomos italianos; boticarios y médicos flamencos, etc. etc. Un muy numeroso grupo de científicos y expertos de todas las áreas del saber que durante décadas estuvieron al servicio de Felipe II y por tanto del Imperio Español.

Expertos que en su mayoría formaban parte activa del Imperio como súbditos de la Monarquía Hispánica (flamencos, napolitanos, borgoñones, milaneses, portugueses, etc.).

Cuando volvieron a sus países se llevaron consigo todo el conocimiento acumulado, impulsado por Felipe II, y por tanto fueron una fuente de generación y expansión del conocimiento por todo el continente.

Todos ellos estaban acompañados por otra legión de españoles, de lo mejor en cada área, salidos de las universidades, de la que España estaba tan bien provista (encabezadas por la de Salamanca y la de Alcalá de Henares), y otros centros de saber de los territorios de la Monarquía de España (en el Escorial, en Madrid, en Sevilla, etc.).

Simultáneamente, España, despliega escuelas y Universidades por América, enseña los avances y muestra las nuevas técnicas constructivas, lleva maquinaria moderna de acuñación, ingeniería, imprenta, etc. Así es como se genera una revolución, expandiéndose más allá del punto donde nace.

Hasta los Jesuitas, orden de origen español y católica, introdujeron la astronomía y la ciencia occidental en China durante el siglo XVI y XVII. (ver [2])

Algunas de las instituciones que se crearon en la época fueron:

- a) La Casa de Contratación,
- b) El Consejo de Indias,
- c) La Real Academia de Matemáticas,
- d) El Real Tribunal de Proto Medicato

Instituciones que ayudaron a desarrollar esos ámbitos del saber.

2. Historia del uso del vapor hasta el Renacimiento

Hasta el siglo XVI, no hay demasiados antecedentes del empleo del vapor como fuerza para mover máquinas o artillugios.

Se tiene constancia de las ideas de Arquímedes sobre un cañón de vapor usado durante el sitio de Siracusa (213-212 a. C.). Era un artefacto que lanzaba proyectiles usando vapor a alta presión proveniente de una caldera [3].

Otro antiguo artillugio del que se tiene referencia conocida es el descrito por Herón de Alejandría en el siglo I. [4]

Conocido como aelópilo, se trataba de una esfera hueca con dos toberas situadas diametralmente opuestas. La esfera estaba comunicada con el recipiente inferior, que se llenaba parcialmente de agua y se calentaba. El vapor se introducía en la esfera mediante unos tubos, que al salir por las toberas hacía girar la esfera por la fuerza de reacción que se provocaba. Véase la siguiente figura:



Figura 1: Recreación del Aelópilo de Herón de Alejandría.

El aelópilo constituyó durante los siguientes siglos un entretenimiento entre los científicos y la alta sociedad de las épocas medieval y renacentista.

Pasaron cientos de años antes de tener nuevas referencias del uso del vapor. Este vacío quedaría explicado, según los historiadores porque no era necesaria la energía del vapor, ya que existía abundante mano de obra barata (esclavos) y además estaba la fuerza animal (burros, mulas y caballos). También era ya común, a lo largo de la edad media, utilizar la fuerza del viento y del agua.

Mucho después, en el siglo XII, consta que en la catedral de Reims había un órgano que funcionaba con vapor, aunque no quedan vestigios de él [5]. En cualquier caso, no se trataba de un uso industrial.

Parece ser que la idea del cañón de vapor la retomó Leonardo da Vinci (Architronito), aunque como muchos de sus inventos cayó en el olvido. Fue redescubierto entre sus papeles en el s XVIII, por lo que no influjo en el desarrollo de la máquina a vapor.

La siguiente referencia conocida al uso de vapor aparece en “Los veintitún libros de los ingenios” (importante libro español del s XVI), según el ilustre historiador e ingeniero Nicolas Garcia Tapia en [6]. En él, se propone la utilización del vapor para encontrar y hacer elevar el agua subterránea y para insuflar un horno. El valenciano Juan de Escrivá, en 1606 (año en que se aprobaron las patentes de Ayanz), decía que poseía máquinas para elevar el agua utilizando el vapor, aunque solo describe unos instrumentos para medir la cantidad de vapor que podía extraerse por evaporación del agua. Esto se encuentra en un capítulo añadido por Escrivá en su traducción al italiano de un libro de Giovanni Battista della Porta.

Este año de 1606 sería precisamente el de la primera patente de una máquina de vapor industrialmente utilizable, presentada por Ayanz.

Lamentablemente, este hecho (patente de la máquina de vapor y su uso) cayó en el olvido hasta nuestros días. A lo largo del siglo XVII continuaron, en otros países, los trabajos y experimentos sobre el vapor de agua (descubrimiento de la presión atmosférica, el poder del vacío, Torricelli, Otto von Gerike) que permitió continuar con la evolución de la máquina de vapor.

3. La máquina de vapor según la literatura europea, año 2024

La literatura europea, quitando honrosas excepciones, desconoce a día de hoy la aportación española al uso de la máquina de vapor para fines industriales.

Puede deberse a que el trabajo desarrollado por los técnicos y científicos españoles de los siglos XVI y XVII (siglo de oro español), así como los avances tecnológicos conseguidos, han pasado desapercibidos para la comunidad internacional hasta el año 1990, año en que Nicolás García Tapia con el libro “Patentes de invención en el Siglo de Oro”, (ver [7]) los da a conocer.

Echando un vistazo a la literatura actual sobre la historia de la máquina de vapor, en el presente año de 2024, podemos encontrar las siguientes referencias.

La Enciclopedia Británica [8], destaca sobre la máquina de vapor:

“The earliest steam engines were the scientific novelties of Hero of Alexandria in the 1st century CE, such as the aeolipile, but not until the 17th century were attempts made to harness steam for practical purposes. In 1698 Thomas Savery patented a pump with hand-operated valves to raise water from mines by suction produced by condensing steam. In about 1712 another Englishman, Thomas Newcomen, developed a more efficient steam engine with a piston separating the condensing steam from the water.

In 1765 James Watt greatly improved the Newcomen engine by adding a separate condenser to avoid heating and cooling the cylinder with each stroke. Watt then developed a new engine that rotated a shaft instead of providing the simple up-and-down motion of the pump, and he added many other improvements to produce a practical power plant”.

Según el Larousse francés [9], la máquina de vapor:

“Héron d’Alexandrie, on lui attribue l’invention de plusieurs machines, dont la fontaine de Héron et l’éolipile. Mais les premières tentatives de mise au point d’une machine utilisant la vapeur font l’objet de débats de part et d’autre de la Manche : en Angleterre, le marquis de Worcester aurait construit entre 1630 et 1645 une machine à élever l’eau, une «pompe à feu» utilisant la vapeur. Pour les Français, c’est Denis Papin : en 1679, l’élève de Huygens, explore ces nouvelles possibilités dans une première direction avec son digesteur, ancêtre de l’autocuiseur, qui constitue en même temps une chaudière à haute pression. Puis en 1690, en exploitant le vide créé par la condensation de la vapeur, Papin est le premier à faire mouvoir de la sorte un piston dans un cylindre. Papin s’inspire également des travaux de l’Anglais Thomas Savery qui, en 1698, a mis au point une pompe aspirante et refoulante exploitée dans l’industrie minière.

La machine à vapeur est entrée dans la pratique industrielle en 1712 avec l’Anglais Thomas Newcomen. Ce dernier opérait la condensation de la vapeur au moyen d’une injection d’eau dans le cylindre, d’où des pertes thermiques importantes. C’est pourquoi James Watt s’attacha, de 1765 à 1776, à créer la machine à condenseur séparé qui remédiait à cette imperfection “

Según fuentes italianas [10]:

“Il primo esempio di macchina a vapore di cui si abbia notizia è l’eolipila, inventata e sviluppata da Erone di Alessandria, vissuto nel 1 secolo dopo Cristo...

Per secoli e secoli non si ritrova nulla del genere nella storia delle invenzioni e occorre arrivare al 1690 per ritrovare una macchina a vapore, sviluppata dal fisico francese Denis Papin. La macchina di Papin è molto semplice e poco potente, ma perfettamente funzionante, tanto che trovò anche qualche applicazione per la costruzione di pompe per l’acqua.

Il più importante progresso nel campo delle macchine a vapore è dovuto a James Watt, uno scienziato scozzese che operò tra la fine del 18 e l’inizio del 19 secolo. Watt iniziò migliorando la macchina costruita all’inizio del 18 secolo da un altro inventore inglese, Thomas Newcomen, e che era chiamata anche motore atmosferico”.

Según fuentes alemanas [11]:

“Ein alter Grieche namens Heron tüftelte gerne mit Feuer und Wasser. Erfand schon vor 2.000 Jahren eine Anlage, die man als erste Dampfmaschine bezeichnen könnte, den “Heronsball“.

Im 18. Jahrhundert wurden die Stollen immer tiefer. Wasser sammelte sich dort, behinderte die Arbeit und musste deshalb abgepumpt werden. Das war sehr anstrengend. Thomas Newcomen, ein englischer Erfinder, gelang 1712 Großes: Er entwickelte eine Dampfmaschine, die eine Wasserpumpe betreiben konnte. Problem gelöst! Besonders kräftig war die Dampfmaschine Newcomens jedoch noch nicht. James Watt verbesserte sie entscheidend und wurde dadurch berühmt”.

Como se deduce de los párrafos expuestos anteriormente, la mayoría de las fuentes citan a los principales actores (Herón de Alejandría, Denis Papin, Thomas Savery, Thomas Newcomen y James Watt) en relación con el uso y desarrollo de la máquina de vapor

Todos ellos (ingleses, francés, italianos y alemanes) desconocen la aportación española, que es anterior a la de todos ellos, excepto Herón.

No es de extrañar. Según fuentes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en uno de sus artículos (ver [12]) se dice:

“Los personajes que intervienen en nuestro relato son, como hemos indicado: Denis Papin (1647-1712), contemporáneo de Newton (1642-1727) y colaborador de Robert Boyle (1627-1691). Reinan en España Felipe III, Felipe IV y Carlos II.

Thomas Newcomen (1663-1729), inventor de la máquina de vapor atmosférica, muere cuando en España reina Felipe V.

En 1714 Fahrenheit (1686-1736), inventó el primer termómetro propiamente dicho. Murió el mismo año en que Watt patentó su máquina de vapor.”

4. Jeronimo de Ayanz, el Leonardo da Vinci español: impulsor de la máquina de vapor

La figura y obra de Jerónimo de Ayanz y Beuamont, ha sido descrita por el profesor Nicolás García Tapia [6], autor de una amplia y detallada bibliografía sobre la vida y los trabajos de Ayanz.

Nació el año 1553 en Guenduláin (Navarra) y murió el 23 de marzo de 1613 en Madrid. Sus padres, Carlos de Ayanz y Catalina de Beaumont, eran nobles por diversas ramas. A los 14 años dejó Guenduláin para entrar en la Corte como paje de Felipe II y recibió la mejor educación posible de la época.

Personaje increíble, y a la vez poco conocido, fue polifacético (político, militar, músico, escritor, pintor e ingeniero) y definido como el Leonardo da Vinci español por la amplitud e importancia de sus inventos.

Como militar combatió en Túnez, Flandes, Portugal, las Azores y La Coruña. Así mismo, desmanteló una conjura francesa para asesinar en Lisboa a Felipe II.

Jerónimo de Ayanz se hizo famoso en su época por su fuerza y por las hazañas que realizó en Flandes. Lope de Vega, gran amigo suyo, le dedica un soneto y refleja su vida en una comedia titulada “Lo que pasa en una tarde”.

Como político fue gobernador de Murcia y después de Martos.

La circunstancia clave para su posterior reconocimiento se da en el año 1606, cuando el Rey Felipe III otorgó a Jerónimo de Ayanz y Beaumont una cédula de privilegio real (el antecedente de las actuales patentes) que le permitía disfrutar del derecho exclusivo de unas cincuenta invenciones que iban desde equipos de buceo y sistemas de ventilación de minas, hasta mejoras en molinos, bombas y hornos, incluidos dos dispositivos relacionados con el uso del vapor. Uno de estos, permitía extraer el agua de las minas (figura 2.a).

En 1587 fue nombrado administrador general de Minas del Reino, es decir, gerente de las 550 minas que había entonces en España y de las que se explotaban en América. Recibió el encargo de viajar para comprobar el estado en el que se encontraban, lo que le permitió conocer los principales problemas que las aquejaban: la contaminación del aire en su interior y la acumulación de agua en las galerías. Con sus inventos los pudo resolver.

Dichos problemas habían sido abordados previamente. El alemán Agricola, en su famoso libro sobre el estado del arte de la minería “De Re Metallica”, publicado en 1556, dibuja unos aspiradores de aire consistentes en unos molinos de eje vertical y aspas rectangulares que, al girar, ventilaban la mina. También se describen los aparatos de la época para elevar el agua. Cuando no se disponía de una corriente de agua próxima para mover los ingenios de desagüe, había que recurrir a la fuerza humana o de los animales.

Cuando no existía la posibilidad de practicar un túnel que evacuase en agua por gravedad, había que recurrir a ingenios más o menos complejos para drenar las minas. Desde época romana se conocían estos ingenios, que se habían transmitido hasta el Renacimiento sin apenas variaciones.

De esta forma, las bombas de achique eran accionadas por animales sujetos a una noria o bien por hombres andando dentro de una rueda o moviendo los tornos con que se subían lentamente los recipientes usados para el desagüe.

El trabajo era penoso y poco eficaz. Algunas minas se abandonaron por estar inundadas.

Se necesitaba una energía nueva que reemplazase las conocidas hasta entonces, y esta sería la del vapor de agua, siendo Jerónimo de Ayanz el primero que pensó y logró utilizar la energía del vapor para un fin industrial, fabricando y patentando una máquina de vapor para extraer agua de las minas.

Ese uso de la fuerza del vapor para extraer el agua de las minas es lo que eleva a Ayanz al rango de talento universal.

Extraía el agua por impulsión desde el depósito donde se acumulaban hasta el exterior.

Aunque en su época no lo podía saber, en términos científicos, esa forma de hacer trabajar a la máquina de vapor implica aplicar el primer principio de la termodinámica –definido doscientos veinte años después por Carnot en 1824 – a un sistema abierto.

Este principio relaciona el trabajo y el calor intercambiado en un sistema a través de una nueva variable termodinámica, la energía interna.

Dicha energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. La energía interna del vapor se transformaba en trabajo al impulsar el agua al exterior de la mina.

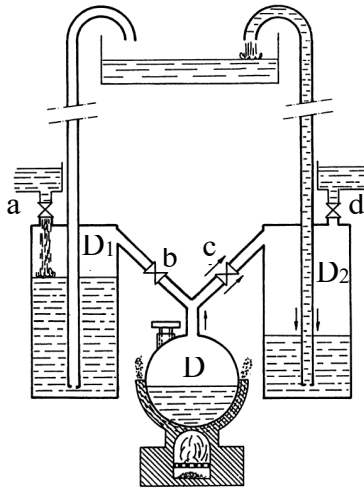
Su máquina constaba de una sola caldera que alimentaba alternativamente dos depósitos. Véase la Figura 2.

La caldera D se comunicaba por tuberías y válvulas con los depósitos D₁ y D₂, donde se encontraba el agua que se quería extraer.

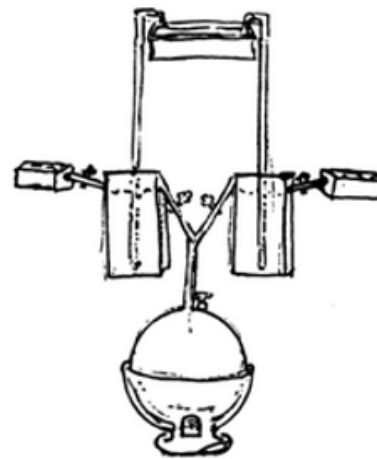
Cuando el vapor de agua llegaba a los depósitos, se conseguía extraer el agua acumulada en estos de forma continua por impulsión.

El funcionamiento de esta máquina de vapor, según las propias instrucciones de Ayanz reproducidas por el profesor Nicolas Garcia en [7], sería el siguiente:

“Abriendo la llave (a) y estando la (b) cerrada, cae el agua desde la mina al depósito de la izquierda; cuando éste está lleno hasta los dos tercios de su nivel, se cierra la llave (a) y se abre la (b) que comunica con la caldera; la presión del vapor hace elevar el agua desde el depósito inferior al superior por la tubería de la izquierda. Las operaciones se alternan en el circuito de la derecha, con lo cual una persona encargada de abrir y cerrar las válvulas correspondientes y de alimentar el fuego, es suficiente para atender una máquina capaz de elevar el agua sin mecanismos móviles, con la única fuerza motriz del fuego”



a) Recreación de Nicolas Garcia Tapia



b) Dibujo Original de Jeronimo de Ayanz

Figura 2: Máquina de vapor de Jerónimo de Ayanz.

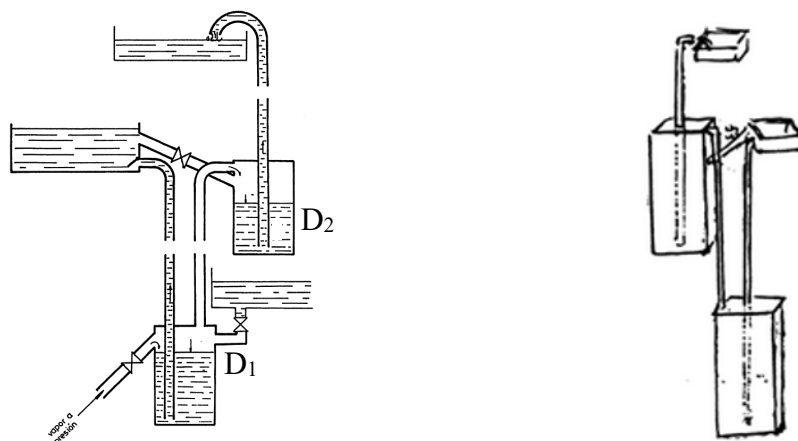
En [7] se explica que: “...naturalmente, tal ingenio debía tener una altura de elevación limitada a la resistencia de las tuberías y de las soldaduras”.

Ayanz recomienda la utilización de gruesas tuberías y calderas de cobre con soldadura de plata, pero la altura seguía limitada por la presión del vapor de la caldera, más aún cuando no se aprovecha la altura de elevación suplementaria que podría proporcionar la presión atmosférica. Es raro que no se le ocurriese esto a Ayanz, teniendo en cuenta que ya había utilizado el efecto de la presión atmosférica en el intercambiador de aguas por sifón.

Para conseguir más altura de elevación, sin aumentar la presión de la caldera, Ayanz recurre a colocar varios depósitos en serie, como se ve en la Figura 3.

El esquema de la Figura 3, en el que sólo está representado el circuito del lado derecho; la presión de la caldera D (que no se ve en la figura) actuaría simultáneamente sobre los depósitos D_1 y D_2 , correspondientes a las dos etapas de elevación; con la misma presión se alcanzaría el doble de altura de elevación, a costa de doblarse también el consumo de vapor, sin contar las pérdidas de vapor que se producirían inevitablemente, limitando así la eficacia de la máquina.

La importancia histórica de los ingenios de vapor de Ayanz es enorme, si tenemos en cuenta que nadie consiguió realizar nada parecido hasta casi un siglo después (1698, Savery).



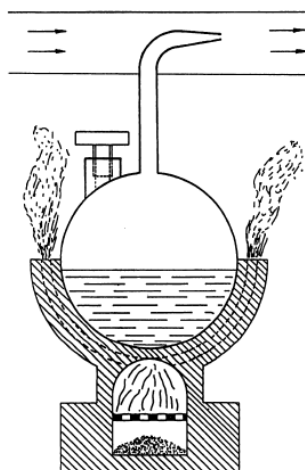
a) Recreación de Nicolas Garcia Tapia

b) Dibujo original de Jeronimo de Ayanz

Figura 3: Depósitos de desagüe en serie.

En cuanto a la ventilación de las minas, Ayanz propone un original sistema para producir una corriente de aire por medio del vapor producido por una caldera (que llama “bola de fuego”) a la que se añade una tobera en forma de «pico de cigüeña», terminada en un orificio muy fino. Al salir el vapor por el orificio, arrastra el aire por una tubería. Jerónimo de Ayanz no acompaña un dibujo a la descripción del aparato.

Una reproducción propia de lo que sería el sistema se debe a Nicolas Garcia Tapia y se muestra en la Figura 4. Es un uso anticipado en varios siglos del principio de Bernoulli (básicamente, un aumento en la velocidad del fluido debido a una disminución de su presión),

**Figura 4:** Reproducción del sistema de ventilación de Ayanz por Nicolas Garcia Tapia

Desgraciadamente, la muerte del inventor en 1613 en Madrid impidió que se continuara en España el desarrollo de la primera aplicación de la energía del vapor a la extracción de agua de las minas y la mejora en la ventilación, origen, un siglo después, de la revolución industrial inglesa.

5. Artilugio de Papin y máquina de vapor de Savery

A finales del siglo XVII ya se había descubierto la presión atmosférica (Torricelli, 1643) y la inmensa fuerza que la presión atmosférica podía producir (experimento de los hemisferios de Magdeburgo de Otto von Guericke, 1654).

En otro de sus experimentos, en línea con la historia de la máquina de vapor, demostró que, cuando se creaba un vacío parcial en un cilindro con un émbolo de grandes dimensiones, la fuerza de cincuenta hombres no era suficiente para evitar que el émbolo se moviese hasta el fondo del cilindro debido a la presión atmosférica.

Los primeros intentos de explotar la idea se deben a Denis Papin en Francia y Thomas Savery en Inglaterra, tuvieron un éxito limitado.

Según el escritor científico Matt Ridley, en algún momento entre 1690 y 1695, Papin llegó a construir un pistón simple con un cilindro en el que se condensaba vapor al enfriarse, lo que hacía caer el pistón y elevaba un peso mediante una polea. Había descubierto el principio del motor atmosférico, donde el peso del aire atmosférico es el que realiza el trabajo una vez que se crea el vacío bajo el pistón. Se trata de una máquina que succiona en vez de expeler.

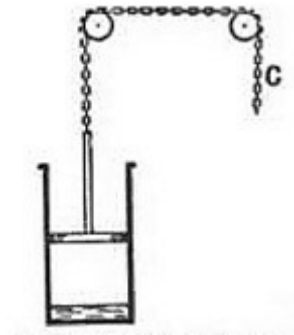


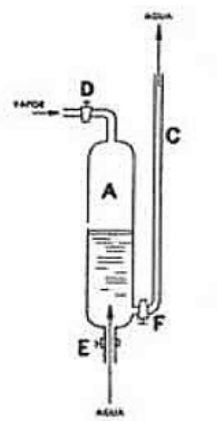
Figura 5: Dispositivo de Papin sobre 1690.

Papin abandonó la idea al no considerarla práctica en 1698, pero su artificio sería la base de la máquina de vapor atmosférica de Newcomen de 1712, que sí se basaba en la fuerza generada por la presión atmosférica.

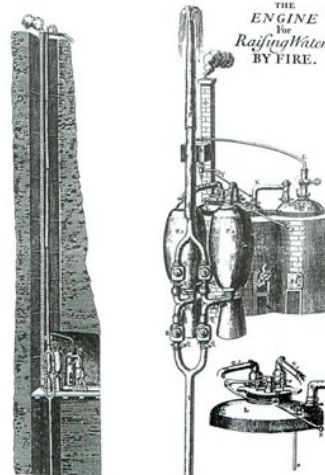
Hasta ese año de 1698 no se llegaría a realizar algo parecido a lo que construyó Ayanz en 1606.

Thomas Savery, patentó en 1698 una máquina de vapor factible (la llamó “el amigo del minero” porque facilitaba su trabajo). Su funcionamiento coincide básicamente con la que había patentado Ayanz casi un siglo antes, aunque introducía un avance científico más que no era posible en la época de Ayanz.

Al igual que la máquina de vapor de Ayanz, disponía de una caldera y dos depósitos para facilitar el trabajo continuo de la misma, como se observa en la figura 6.



a) Funcionamiento de la máquina de Savery



b) Máquina de Savery original

Figura 6: Dispositivo Savery.

La máquina de Savery debía colocarse dentro de la mina (véase la figura 6). Al igual que la de Ayanz, no utilizaba pistones.

El vapor se dejaba entrar al depósito mediante una válvula proveniente del horno, y después este se rociaba con agua fría. La condensación resultante provocaba un vacío en el depósito que se empleaba para absorber el agua de la mina. Después, al igual que la máquina de Ayanz, se dejaba pasar de nuevo el vapor al depósito para empujar el agua hacia arriba y fuera de la mina a través de un tubo delgado.

El procedimiento utilizado por Savery consistía esencialmente en refrigerar (por medio del agua fría) un depósito en el que antes se había introducido vapor de agua. Al condensarse este vapor originaba el vacío en el depósito y el agua que se deseaba extraer penetraba en el depósito por aspiración.

Después, para eliminar el agua aspirada del depósito, se permitía volver a introducir vapor de agua en el depósito, que por impulsión caía al exterior. Este aparentemente simple y tosco mecanismo se utilizó durante mucho tiempo para extraer el agua en las minas inglesas.

El mecanismo de funcionamiento es el siguiente:

Paso I: El vapor llega por el grifo D y llena el depósito A. Los grifos E y F están cerrados.

Paso II: Se cierra el grifo D y F permanece cerrado. Por refrigeración, se condensa el vapor en el depósito A, se hace el vacío y el agua sube por el grifo E con lo cual se llena el depósito A.

Paso III: Se cierra el grifo E mientras D y F se abren. El vapor proveniente de D empuja al agua a través del tubo C a el nivel superior y el vapor llena el depósito A.

Paso IV: Se reinicia el ciclo anterior a partir del Paso II.

Entre los inconvenientes que aparecieron en la máquina de Savery podemos citar los tres siguientes:

- a) Alto consumo de combustible para generar el vapor.
- b) Peligro de explosión de las calderas. La presión del vapor llegaba al valor necesario a la altura de descarga del agua. Cuando esta altura rebasaba ciertos límites, la presión era superior a la resistencia de las calderas que, en esa época, no eran muy resistentes.
- c) Al tener las minas cada vez mayor profundidad, la máquina de Savery no funcionaba correctamente, por lo que se hacía evidente la necesidad de una nueva máquina.

Ese honor recayó en Newcomen, que transformó el destino de la máquina de vapor. En 1712, ideó su máquina de vapor con un cilindro que sí tenía pistón, como el dispositivo de Papin.

Ya en la segunda mitad del siglo XVIII, el inglés James Watt desarrolló la máquina de vapor que supuso su “mayoría de edad” al introducir un condensador adicional independiente, los cilindros de doble acción y la transformación del movimiento rectilíneo alternativo de la máquina de Newcomen en el movimiento giratorio.

Finalmente fue la máquina de Watt la que posibilitó la Revolución Industrial inglesa.

6. Funcionamiento de la máquina de vapor de Ayanz y de Savery

Técnicamente las máquinas de Ayanz y de Savery derivan del principio de las eolípilas de Herón.

Ayanz, a partir de la caldera donde se hacía hervir el agua, que él denominaba «bola de fuego», le acopló una serie de tuberías con válvulas de apertura y cierre que permitían dirigir el vapor de agua hacia uno de los depósitos o hacia el otro, depósitos que contenían el agua de las minas que se quería extraer. En ellos se producía la expansión del vapor y el consiguiente impulso de elevación del agua hacia el exterior.

Se observa que, en la máquina de Ayanz, el llenado de agua de los depósitos procedente de la mina se hacía por gravedad, es decir, el depósito se encontraba a un nivel más bajo que las aguas a evacuar, por lo cual, con la ayuda de una válvula, el llenado del depósito estaba asegurado.

En este punto, la máquina de Savery trabajaba por efecto del vacío. El depósito se encontraba por encima de las aguas a evacuar. Véase la Figura 6.

El llenado del depósito se hacía mediante el vacío producido en el depósito cuando el vapor se condensa. Puesto que el vacío total era complejo de conseguir, la máquina de Savery trabajaba peor que la de Ayanz, ya que no se podía asegurar un buen llenado de los depósitos.

Sin embargo, la máquina de Savery (96 años posterior) presentaba una novedad que no se podía dar en tiempos de Ayanz y es el utilizar el vacío y la presión atmosférica para generar un trabajo.

Así, Savery aprovechaba tanto el poder de empuje como el del vacío. La máquina de Ayanz sólo explotaba el empuje. Adelantado a su tiempo, todavía no se conocía la presión atmosférica (1643) ni la fuerza provocada por el vacío (1654).

En la máquina de Ayanz los tanques sólo recibían agua estando por debajo del nivel del agua de mina que se estaba drenando, no mediante ningún tipo de succión.

El de Savery, por el contrario, podía aspirar agua en los depósitos para después extraerla por impulsión. Hasta una altura de 8 metros.

7. Conclusiones

En el presente artículo se ha puesto de manifiesto el alto nivel de desarrollo de la España de los siglos XVI y XVII.

España fue pionera del saber en campos como el arte de la navegación, la cartografía, la filosofía natural, la historia natural, etc.

Creo instituciones que ayudaron a expandir, con posterioridad, el conocimiento de la época por toda Europa. Fruto del nivel de desarrollo alcanzado es el Siglo de Oro español.

Esto tuvo su reflejo también en el campo tecnológico, con la aparición de personajes como Jerónimo de Ayanz, hombre polifacético, considerado el Leonardo da Vinci español, por la calidad y lo adelantado a su época de sus trabajos.

Jerónimo de Ayanz fue, por destacar solo una de sus contribuciones, el precursor de la máquina de vapor (1606), artificio que, ciento sesenta años después, fue el origen de la Revolución Industrial en Inglaterra (1769).

Ayanz fue pionero (desde los tiempos de Herón de Alejandría) en el uso y diseño de la máquina de vapor para extraer el agua de las minas, que fue el primer uso que tuvo la máquina de vapor.

Extraía el agua por impulsión desde el depósito donde se acumulaban hasta el exterior.

Aunque en su época no lo podía saber, en términos científicos, esa forma de hacer trabajar a la máquina de vapor implica aplicar el primer principio de la termodinámica –definido doscientos veinte años después por Carnot en 1824 – a un sistema abierto. Este principio relaciona el trabajo y el calor transferido e intercambiado en un sistema a través de una nueva variable termodinámica, la energía interna.

Dicha energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. La energía interna del vapor se transformaba en trabajo al impulsar el agua al exterior de la mina.

También diseñó, basándose en el uso y las propiedades del vapor de agua, un sistema de ventilación en minas, que ayudaba a la renovación del aire contaminado (portador de enfermedades). Este último sistema se basaba en aumentar la circulación del aire para renovar el aire contaminado y enrarecido. Para ello, aumentó la velocidad de circulación del aire, a expensas del descenso del valor de la presión que se generaba con el vapor.

Se adelantó, sin saberlo, al principio de Bernoulli, mejorando la tecnología de su época a este respecto. Los conocimientos científicos en la época de Ayanz iban por detrás de la técnica ya que el principio de Bernoulli fue expuesto en 1738, 132 años después y ayudó, primero a comprender los fenómenos que se producían y después a mejorar las tecnologías existentes.

La máquina de vapor de Jerónimo de Ayanz se destacó por su innovación y funcionalidad, ya que fue algo totalmente novedoso y práctico para la solución del problema del desagüe de las minas.

Con los conocimientos actuales, no podemos aventurar cual fue su influencia en ingenieros posteriores como Savery, que también patentó una máquina de vapor que funcionaba en parte con el mismo principio que la máquina de Ayanz, es decir, extraer agua de las minas por impulsión.

Sin embargo, el legado de Jerónimo de Ayanz en la historia de la máquina de vapor es innegable, ya que al menos demuestra que en su época todavía se podían hacer avances tecnológicos importantes sin una base científica que lo sustentase.

Sin embargo, también se debe destacar que la decadencia económica de España durante el siglo XVII y siguientes, no permitió que dicha revolución industrial ocurriese en España ya que máquinas e ingenios como el de Ayanz, no sólo no se perfeccionaron, sino que se abandonaron.

8. Referencias

- [1] <https://guias.bne.es/impresciencia/introduccion>
- [2] <https://www.elcaminoespañol.com/por-que-espana-inicio-y-lidero-la-revolucion-cientifica-y-otros-paises-se-llevan-la-fama/>
- [3] Rossi, C., Archimedes' Cannons Against the Roman Fleet?. Springer Netherlands. pp. 113-131. ISBN 978-90-481-9090-4. doi:10.1007/978-90-481-9091-1_8. (2010)
- [4] Strandth, S., Historia de la máquina, Ed. Raices, Santander (1984)
- [5] Romero García, R. E. Técnica Industrial 308, <https://www.tecnicaindustrial.es/copio-alonso-barba-a-jeronimo-de-ayan/> (2014)
- [6] García Tapia N (2001). Un inventor navarro Jerónimo de Ayanz y Beaumont 1553-1613. Gobierno de Navarra, Pamplona. ISBN 978-84-23521-28-9.
- [7] García Tapia N (2008). Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro. Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid. ISBN 978-84-96113-11-4.

-
- [8] Enciclopedia Británica, <https://www.britannica.com/technology/steam-engine>
 - [9] Enciclopedia Larousse, https://www.larousse.fr/encyclopedia/divers/machine_%C3%A0_vapeur/100756
 - [10] Enciclopedia Treccani, [https://www.treccani.it/enciclopedia/macchina-a-vapore_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/macchina-a-vapore_(Enciclopedia-dei-ragazzi))
 - [11] Internet, <https://www.br.de/kinder/dampfmaschine-bahnbrechende-erfindung-kinder-lexikon-100.html>
 - [12] Esteban Moreno Gómez y José María López Sancho, Breve historia de la máquina de vapor,
 - [13] Manuel Silva Suárez, El Renacimiento: De la técnica imperial y la popular, ed. Técnica e Ingeniería en España, ISBN: 978-84-7820-814-2, (2008)