

El nacimiento de la Hidráulica Experimental

Dr. Félix Riaño Valle

Profesor Titular y Consultante. Vice-rectoría Docente.

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

email: riano@tesla.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo analiza los contextos en los cuales se desarrolló el nacimiento de la Hidráulica Experimental y los aportes más sobresalientes de sus principales exponentes en los siglos XVI y XVII. Se discute acerca del origen e incipiente desarrollo de la Hidráulica como ciencia con la incorporación de la observación y experimentación como la base del razonamiento científico. Además, se reflexiona acerca del contexto económico, político y social en la Era del Renacimiento así como los principales acontecimientos que marcan su inicio. Divulga los aspectos fundamentales de la vida y obra de los principales promotores de esta disciplina científica: Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei, Benedetto Castelli, Evangelista Torricelli, Edme Mariotte y Doménico Guglielmini

Palabras clave: experimental, Galileo, hidráulica, historia, Leonardo.

The Birth of Experimental Hydraulics

ABSTRACT

The present work not only analyzes the contexts in which Experimental Hydraulics was developed but also the most outstanding contributions of its most important exponents during the XVI and XVII centuries. It is discussed about of the origin and incipient evolution of Hydraulics as a science when observation and experimentation were incorporated as the basis of scientific reasoning. Besides, the economic, politic and social context of Renaissance is analyzed as well as the life of the main developers of this scientific discipline: Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei, Evangelista Torricelli, Edme Mariotte y Domenico Guglielmini.

Keywords: experimental, Galileo, hydraulics, history, Leonardo.

INTRODUCCIÓN

Como se ha señalado en un trabajo anterior (Riaño 2014) el siglo XVIII fue trascendente para el progreso de la Hidráulica. Nace la Hidrodinámica Teórica y a la vez, se desarrollan importantes trabajos experimentales que van conformando la incipiente evolución de la hidráulica como ciencia. Sin embargo, si bien la Hidrodinámica Teórica se consolida esencialmente en ese siglo, en el caso de la Hidráulica Experimental su surgimiento y perfeccionamiento es mucho más amplio con una etapa inicial durante los siglos XVI y XVII consolidándose definitivamente posteriormente hasta nuestros días.

El surgimiento de la Hidráulica Experimental se inserta en la llamada Revolución Científica en la cual se incrementa el valor de la observación, de la experiencia y la necesidad de la verificación práctica. Así mismo se establecen los fundamentos conceptuales e institucionales de la ciencia moderna de la que Galileo fue uno de sus máximos representantes (Martínez 2003).

Este método para el estudio de los fenómenos hidráulicos tiene antecedentes remotos pero el más cercano está en los trabajos del genio de Leonardo Da Vinci. Este había declarado que el proceso que debía seguirse en las investigaciones de fenómenos de la naturaleza tenía que comenzar con la experimentación y tratar a través de ella de descubrir la razón.

En este artículo se resumen las contribuciones consideradas más significativas que tienen lugar principalmente durante los siglos XVI y XVII que marcan el inicio de la Hidráulica Experimental. Los aportes de Leonardo y Galileo y los trabajos de Mariotte y Guglielmini son analizados como precursores importantes de los logros alcanzados en este campo. De igual forma se hace referencia a las contribuciones de dos importantes figuras de la época: Benedetto Castelli y Evangelista Torricelli.

Aspectos poco conocidos de la vida de estos hombres son dados a conocer. Estos nombres, en algunos casos olvidados o poco relacionados con esta temática, resultan imprescindibles para estudiar el surgimiento e incipiente desarrollo de la Hidráulica Experimental en la Europa de ese tiempo.

Para alcanzar este objetivo fue necesaria una amplia búsqueda bibliográfica y un estudio profundo de las principales personalidades relacionadas con esta temática, seleccionándose aquellas consideradas más influyentes. En algunos casos se brindan curiosidades que aunque no están directamente relacionados con el tema, el autor las considera de interés.

No constituye objetivo de este trabajo la explicación detallada de los aportes presentados. El propósito es dar a conocer aspectos relevantes acerca del origen de la Hidráulica Experimental.

Para la comunidad académica y los profesionales que tienen que ver con la Mecánica de los Fluidos, la información que se brinda, de manera resumida, propicia relacionarse con aspectos poco conocidos del desarrollo de la Hidráulica Experimental pero que se destacan por su valor. En particular para los que, como el autor, se dedican a la enseñanza, tratar aspectos del contexto y antecedentes históricos de los conocimientos resultan imprescindibles para lograr una comprensión cabal de esta materia haciéndola más amena.

Recapitular lo esencial de lo ocurrido en estos dos siglos en relación con esta disciplina es un reto difícil de enfrentar dada la variedad, el alcance de los aportes y lo difícil de acceder a materiales originales de la época. Sin embargo, la importancia de dar a conocer aspectos poco

divulgados y a veces distorsionados de la historia de esta ciencia y de los hombres que la hicieron posible, motiva a afrontarla.

Los textos de la época referidos al tema, fueron tomados del libro *History of Hydraulics* de Hunter Rouse y Simon Ince (Rouse and Ince 1957). De igual manera los comentarios de estos dos autores han sido de inestimable valor. Esa obra constituye un testimonio excepcional para los estudiosos de la hidráulica. Este ensayo es el segundo de una serie donde se tratan diferentes temas relacionados con la historia de la hidráulica.

EL ESCENARIO CIENTÍFICO DEL RENACIMIENTO

El análisis histórico de cualquier acontecimiento conduce necesariamente a la confirmación de que este no constituye un hecho aislado, el mismo está relacionado con otros que le precedieron, que, en mayor o menor medida, contribuyeron a su descubrimiento o creación. Todos ocurren en un contexto que influye sobre él.

La hidráulica hasta la Edad Media es estrictamente un arte. No existe una base científica y a la solución de los problemas se llega por aproximaciones sucesivas. Las experiencias se transmiten de generación en generación. Los griegos logran avances en el suministro de agua, pero existen pocas evidencias. Los romanos lograron grandes aportes en el arte de distribuir el agua y fueron capaces de apreciar los efectos de la carga por elevación y presión, la pendiente y las pérdidas por resistencia que fueron recogidos en los manuscritos de Frontinus. Los aportes de Arquímedes en Hidrostática tienen vigencia. El dominio de la matemática alcanzaba solo aspectos de la aritmética (Riaño 2014). El problema de la caída libre de los cuerpos no estaba resuelto y se creía erróneamente que la velocidad en caída libre dependía de su peso. La ocurrencia del vacío no está explicado y es un tema casi prohibido por la Iglesia. Los problemas encontrados en los proyectos de las fuentes monumentales de agua, muy de moda en Italia, acaparan todo el interés de los principales pensadores.

Es esta la situación de la hidráulica con que se inicia el período histórico conocido como Renacimiento. El Renacimiento comenzó en Italia en el siglo XIV y se propagó por el resto de Europa durante los siglos XV y XVI. En este período, la decadente sociedad feudal de la Edad Media, caracterizada por una economía básicamente agrícola y una vida cultural e intelectual sometida por la Iglesia, se transformó en una sociedad dominada progresivamente por instituciones políticas centralizadas, con una economía urbana y mercantil. Se produce, asimismo, un desarrollo de la educación, de las artes y de la música. En esta etapa se fortalece el poder de las monarquías feudales y se enfrentan los poderes universales (Pontificado e Imperio) y entran en crisis (Biblioteca Pública de Cuenca 2007).

Varios acontecimientos ocurridos durante la segunda mitad del siglo XV marcan el inicio del Renacimiento. Entre otros se citan los siguientes: el desmembramiento de la cristiandad y el desarrollo de los nacionalismos, la caída de Constantinopla que llevó a Italia una masa de científicos bizantinos acompañados con sus manuscritos, la introducción de la imprenta y el libro, y la consiguiente difusión de la cultura y por último el redescubrimiento de América y el interés por el mundo físico. Todos estos eventos se fortalecieron mutuamente, trayendo consigo una revolución operada en el mundo de las ideas. Lo decisivo, sin embargo, de este cambio social y cultural fue el desarrollo económico europeo, con los primeros atisbos del capitalismo mercantil y la aparición de una incipiente burguesía.

La era del Renacimiento marca el comienzo de la expansión mundial de la cultura europea, con los viajes portugueses y españoles, lo cual rompe la concepción medieval del mundo hasta ese momento, fundamentalmente geocéntrica. La Hidráulica Experimental es un producto de este amplio movimiento de revitalización de la cultura europea ocurrida durante los siglos XV y XVI y forma parte de la llamada Revolución Científica.

En este contexto nacen hombres de la talla de Leonardo Da Vinci una de las figuras más fascinantes del Renacimiento y su genuino representante, símbolo del verdadero espíritu de esta época; Galileo Galilei, verdadero ejemplo de tenacidad y valentía en defensa de la ciencia y científicos como Benedetto Castelli, Evangelista Torricelli, Edme Mariotte y Doménico Guglielmini que por sus aportes merecen todo el reconocimiento como fundadores de la Hidráulica Experimental.

LEONARDO DA VINCI

Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) pintor, arquitecto, ingeniero, escritor y escultor no termina de sorprendernos por la amplitud de sus investigaciones y por la riqueza de su obra. La cantidad de manuscritos, notas y dibujos que han llegado hasta nuestros días y que se refieren a asuntos tan diversos como fortificaciones militares, hidráulica, mecánica, óptica, botánica, geología, anatomía, y hasta el vuelo de las aves, es impresionante. Su personalidad asombra y seduce. La tradición lo muestra como un hombre de gran vivacidad, sobresaliente en el arte de la conversación y sobre todo inventivo y extremadamente curioso. Pero, principalmente, el genio de Leonardo se basa en la libertad. En una época en que el talento necesitaba romper con los conceptos antiguos, Leonardo dio pruebas de una independencia significativa. (Biblioteca Pública de Cuenca 2007).

En relación con los aportes de Leonardo solo se hará referencia a algunos considerados más importantes relacionados con la Hidráulica en general y en particular con el método experimental que proclamó.

Su obra está recogida en los llamados Códices constituidos por las libretas que acostumbraba a llevar anotando bosquejos, observaciones escritas sobre cualquier cosa que despertaba su ilimitada curiosidad o reflexiones, que luego compilaba en cuadernos de tamaño mayor. Se cuenta que Leonardo primero dibujaba y a continuación añadía los textos explicativos en los huecos que dejaban las ilustraciones. Uno de ellos, el Códice Leicester, está constituido por un manuscrito encuadernado en piel y compuesto de 36 folios. La mayor parte de las páginas pueden ser atribuidas al periodo entre 1504 y 1506 y están dedicadas preferentemente al estudio de la hidráulica y al movimiento del agua. Como dato curioso se afirma que este Códice fue adquirido por Bill Gates por 25 millones de dólares.

Uno de sus biógrafos, Enzo O. Macagno, sostuvo en 1985 que el genio de todas las artes es más original en sus trabajos sobre fluidos que en el resto de las áreas. Fue uno de los primeros que innovó con el método experimental para sus estudios (Manzanares 1996).

Una materia en la que no avanzó mucho fue en la resistencia de los fluidos, sin embargo realizó una gran deducción: observó el vuelo de un pájaro y el movimiento de sus alas concluyendo que esto provocaba la compresión de aire que ocurre debajo de ellas y logra el apoyo que les permite volar.

Muchos de sus aportes al conocimiento de la hidráulica están recopilados en "Del moto e misura dell'acqua" (Del movimiento y medida del agua), un tratado de nueve partes que cubre los siguientes temas: la superficie del agua, el movimiento del agua, las olas en el agua, cascadas de aguas cayendo, la destructiva fuerza del agua, cuerpos flotantes, remolinos, flujo en tuberías y molinos y otras maquinarias hidráulicas.

En relación con la necesidad de la observación y la experimentación sentenció:

“Es cierto que la naturaleza comienza por el razonamiento y termina con la experiencia, pero siempre debemos tomar el camino inverso: como yo he dicho, nosotros debemos comenzar con el experimento y tratar a través de él de descubrir la razón”.

A partir de sus observaciones y experimentaciones fue el primero que describió la distribución de velocidades en un vórtice, los perfiles de flujo libre, la formación de remolinos, la reflexión, propagación e interferencia de olas y los saltos hidráulicos. Igualmente razonó acerca de la distribución de velocidades en las conducciones abiertas, argumentando que el agua tiene mayor velocidad en la superficie que en el fondo, debido a que en superficie está bordeada por el aire mientras que el fondo bordea con la tierra que tiene una mayor resistencia. De este modo la velocidad aumenta en la medida que se aleja del fondo ya que la resistencia es menor. Leonardo es el primero en proponer la bomba centrifuga y el uso de partículas en suspensión para observar las corrientes internas en un tanque de agua con paredes de cristal.

En realidad Leonardo, más que calcular, lo que hizo fue observar el comportamiento, sobre todo de los fenómenos de la naturaleza, describirlos y hacer esquemas de sus características, llegando a conclusiones. También hizo experimentos modelando, por ejemplo, el ensanchamiento brusco de tuberías donde observó y describió los remolinos y la zona de separación, estudió el flujo en cuerpos sumergidos y la determinación de los perfiles de caída libre de los chorros de agua, entre otros. En este último usó un tanque con paredes de vidrio con orificios a diferentes alturas, dibujando los perfiles de caída. Consideró erróneamente que el gasto por un orificio variaba directamente con la carga. (Rouse and Ince 1957).

Pero, quizás, el aporte más importante realizado por Leonardo a la hidráulica fue el establecimiento de la hoy conocida Ecuación de Continuidad la cual describió con tal originalidad y claridad que justificaría llevara su nombre. Proclamó:

“A river in each part of its length in an equal time gives passage to an equal quantity of water, whatever the width, the depth, the slope, the roughness, the tortuosity” (Rouse and Ince 1957).

Apoyando lo anterior, lo demuestra cuando dice: *porque si una sección diera más que la previa, ésta quedaría seca.* (Manzanares 1996).

De igual forma expresó:

“A river of uniform depth will have a more rapid flow at the narrower section than at the wider, to the extent that the greater width surpasses the lesser” (Rouse and Ince 1957).

Definía así la llamada Ecuación de Continuidad. El método experimental fue empleado desde la antigüedad, pero Leonardo fue el primero en aplicarlo y justificarlo. Sus método científico estaba basado principalmente en la observación. Muchos de sus manuscritos, encontrados después de su muerte, fueron fundamentales para descubrimientos posteriores realizados por Descartes, Pascal y Huygens.

A partir de 1517 su salud, hasta entonces inquebrantable, comenzó a desmejorar. Su brazo derecho quedó paralizado; pero con su incansable mano izquierda Leonardo aún hizo bocetos de proyectos urbanísticos, de drenajes de ríos y hasta decorados para las fiestas palaciegas. En esta época llegó a concebir la idea de hacer casas prefabricadas. Su casa se convirtió en un gran taller, lleno de papeles y apuntes conteniendo las ideas de este genio, muchas de las cuales deberían esperar siglos para demostrar su factibilidad e incluso su necesidad. Sólo por las tres telas que eligió para que lo acompañasen en su última etapa, la *Gioconda*, el *San Juan y Santa Ana, la Virgen y el Niño*, puede decirse que Leonardo poseía entonces uno de los grandes tesoros de su tiempo.

El 2 de mayo de 1519 murió en Cloux; su testamento legaba a su discípulo Melzi todos sus libros, manuscritos y dibujos, que éste se encargó de retornar a Italia.

No obstante su prodigiosa inteligencia, Leonardo no debe ser considerado como un hombre aislado, sin influencia de su pasado y sin influencia en el futuro. Lo cierto es que su capacidad fue muy superior comparada con la de sus predecesores y que su influencia en el futuro fue pequeña comparada con la que podría haber sido (Rouse and Ince 1957).

GALILEO GALILEI

Galileo Galilei (1564 – 1642) fue uno de los hombres más importantes de la Revolución Científica. Nació en Pisa, su padre era músico y de él hubo de heredar no sólo el gusto por la música (tocaba el laúd), sino también el carácter independiente y el espíritu combativo. Fue educado en un monasterio cerca de Florencia y en la Universidad de Pisa donde realizó estudios de medicina sin concluirlos. La matemática la estudió de manera autodidacta.

Desde muy joven, contradijo las afirmaciones de Aristóteles de que la velocidad de la caída libre de los cuerpos dependía de su peso, lo cual le ganó la enemistad con la iglesia. Durante veinte años trabajó en la Universidad de Padua como profesor de matemática donde adoptó la teoría heliocéntrica de Copérnico. En esta etapa, tuvo ocasión de ocuparse de cuestiones técnicas como la arquitectura militar, la castrametación, la topografía y otros temas afines de los que trató en sus clases particulares.

Los aportes de Galileo más importantes para el desarrollo de la hidráulica son los que realizó en el campo de la mecánica, específicamente en la cinemática cuando expresó:

“The distances traversed in natural movement are proportional to the squares of the times of fall, consequently the distances covered in equals intervals are to each other as the successive odd numbers beginning with unity” (Rouse and Ince 1957).

Toricelli se basó en la primera parte de esta afirmación para enunciar la ley de la velocidad de salida del agua por un orificio. Es sorprendente la genialidad de Galileo cuando, apoyado en sus experimentos, relaciona la proporcionalidad de los espacios sucesivos recorridos con la de los números impares. Deja así, implícitamente planteadas, las leyes de la cinemática de la caída libre de los cuerpos en el campo gravitacional.

De sus trabajos sobre caída libre y sobre el péndulo, intuyó que el movimiento de cada uno era resistido por el aire circundante, incluso planteó que tal resistencia se incrementaba con la velocidad del cuerpo y la densidad del medio fluido. De igual forma, en sus estudios sobre la fuerza de tensión de los líquidos concluyó que el vacío tenía un cierto límite definido.

A pesar de que en 1612 escribió el primer estudio sistemático de los fundamentos de la hidrostática, los grandes aportes de Galileo que interesan a este trabajo fueron aquellos en el campo de la mecánica, y sobre todo al fundarla como una ciencia experimental.

Él había reconocido conocer más acerca del movimiento de los cuerpos pesados que de los fluidos encontrados en cada día de su vida. No obstante, basado en el principio de Arquímedes, estudió la flotación de los cuerpos e inventó la balanza hidrostática. Este mecanismo experimental, destinado al cálculo de la fuerza de impulso ejercida por el fluido sobre los cuerpos en ellos inmersos, permite la determinación de pesos específicos.

En 1614, al ser denunciado por sus ideas, su respuesta, en carta abierta dejaba en claro que cuando se discutía sobre cuestiones meramente científicas, la Biblia era un texto irrelevante. Este desafío provocó que fuera advertido que no podría defender más la teoría de que la Tierra se mueve, lo cual tuvo que aceptar (Pino 2013).

Galileo mejoró el telescopio, con el que hizo varios descubrimientos astronómicos importantes, incluyendo las cuatro mayores lunas de Júpiter, las fases de Venus y los anillos de Saturno e hizo observaciones detalladas de las manchas solares.

En 1630, es autorizado por la Iglesia a publicar un libro donde discutía las teorías de la conformación del Universo. No obstante, esto provocó que la Inquisición lo convocara a Roma, para asistir a un juicio por graves sospechas de herejía.

A pesar de que la publicación había sido autorizada, Galileo fue sentenciado a prisión perpetua, no obstante, este fallo se pudo modificar al encierro domiciliario vitalicio, lejos del ambiente científico. La otra parte del veredicto, igualmente injusta y absurda, ordenó quemar todas las copias de algunos de sus libros y la sentencia en su contra debía ser leída públicamente en todas las universidades.

En su retiro, donde a la angustia se sumaron la artritis y la ceguera, Galileo consiguió completar la última y más importante de sus obras: los “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze” (Discursos y demostraciones matemáticas de dos nuevas ciencias), publicado en 1638. En ella, partiendo de la discusión sobre la estructura y la resistencia de los materiales, Galileo sentó las bases físicas y matemáticas para un análisis del movimiento y perfeccionó las leyes de caída libre de los cuerpos en el vacío, contradiciendo la teoría Aristotélica. La obra estaba destinada a convertirse en el fundamento de la ciencia de la mecánica construida por los científicos de la siguiente generación, con Newton a la cabeza.

Galileo logró combinar las funciones de erudito y artesano. Apoyado en los métodos antiguos dio un vuelco significativo a la ciencia de la época añadiéndole al estudio de los fenómenos, la verificación sistemática a través de experimentos planificados, en los que empleó instrumentos científicos de invención reciente como el telescopio y el termómetro. De esta manera alcanzó el gran mérito de ser el iniciador del Método Científico.

En 1642 falleció en Arcetri, acompañado de dos de sus discípulos, Vincenzo Viviani y Evangelista Torricelli, a los cuales se les había permitido convivir con él. Terminó así uno de los personajes más emblemáticos e influyentes de la historia. Casi 100 años más tarde, es construido un mausoleo en su honor, irónicamente, en la iglesia de la Santa Cruz de Florencia.

BENEDETTO CASTELLI

Benedetto Castelli (1577 – 1644), nació en Brescia, fue el mayor de siete hijos nacidos en una familia poco afortunada, caracterizada por la ocurrencia de hechos violentos. Adoptó el nombre de Benedetto después de unirse a la orden de los benedictinos con solo 18 años. Vivió en el monasterio de Padua (1604-1607) y fue uno de los discípulos de Galileo Galilei. Vivió en Florencia (1611) y comenzó a investigar sobre hidráulica con Galileo. Ejerció como profesor de matemáticas en Pisa donde el control de la iglesia era tal, que era obligado a enseñar que la Tierra no se movía. Realizó frecuentes viajes a Florencia para discutir sobre distintos temas de hidráulica con Galileo y mantuvo una frecuente correspondencia con él sobre estos tópicos.

Fue para muchos el padre de la escuela italiana de hidráulica, en virtud de haber publicado ‘Della misura delle acque correnti’ (Las medidas de las corrientes de agua), un importante trabajo sobre los fluidos en movimiento y demostraciones geométricas de la medida de las Aguas Corrientes, fue el primer libro italiano sobre el tema (1628).

En este texto plantea tres proposiciones (Rouse and Ince 1957) que definen completamente la Ecuación de Continuidad:

Sections of the same river discharge equal quantities of water in equal times, even if the sections themselves are unequal.

Given two sections of a river, the ratio of the quantity of water which passes to first section to that which passes the second is in proportion to the ratio of the first and second sections and to that of the first and seconds velocities.

Given two unequal sections by which pass equal quantities of water, the sections are reciprocally proportional to the velocities.

Esta redefinición del principio de continuidad para flujo permanente conocida como la famosa ley de Castelli no aportó algo novedoso a lo establecido por Leonardo 100 años antes, pero tuvo el mérito indiscutible de haberla popularizado entre los ingenieros de la época. Muchos consideran que esta ley fue redescubierta por Castelli independientemente de la influencia de Leonardo.

Castelli sostuvo erróneamente, como Leonardo, que la velocidad de salida de un chorro desde un tanque era directamente proporcional a la carga sobre el orificio. Sus análisis sobre la velocidad de salida del agua en elementos reguladores (control) condujeron a que ingenieros italianos consideraron entonces que el gasto era proporcional al cuadrado de la carga, no solo en accesorios de control, sino también en ríos en general. Castelli fue el inventor de la ventosa y el primero en registrar el pluviómetro. (O'Connor and Robertson 2012).

Compartió la teoría heliocéntrica de Copérnico y fue un fiel defensor de su mentor Galileo con quién mantuvo una gran amistad. Fue consultor del Papa para asuntos fluviales de los Estados pontificios y profesor de matemáticas de la Universidad de Roma. También hizo importantes descubrimientos en la iluminación, tema en el cual formuló independientemente la ley fotométrica, visión y formación de la imagen y diafragmas en telescopios. Fue un pionero en estudios de absorción diferencial de diversos colores.

Murió en Roma en el monasterio de S. Callisto y enterrado en la basílica de S. Paolo Fuoti le Mura.

EVANGELISTA TORRICELLI

Muy conocido entre los ingenieros hidráulicos por su famoso teorema, Evangelista Torricelli (1608 – 1647) nació en Faenza, Italia, estudió matemática y filosofía en un colegio Jesuita, hasta los 18 años. Tenía un talento poco común y se reconoce como un matemático brillante con aportes importantes a la geometría como es el cálculo del área y el centro de gravedad de la cicloide. Sus aportes en esta temática fueron determinantes en el desarrollo del cálculo integral. Estudió bajo la guía de Castelli, quien en 1641 lo recomienda a Galileo para ser su ayudante.

Descubrió la forma de medir la presión atmosférica, para lo cual ideó el barómetro de mercurio junto a su colega Vincenzo Viviani. Este experimento, además de la importancia de sus aplicaciones prácticas, permitía demostrar la inconsistencia de las afirmaciones de los que aún seguían las teorías aristotélicas sobre la imposibilidad de la existencia de vacío.

Demostró que el aire es un fluido gaseoso que nos rodea, envuelve y presiona. Su aporte fue muy importante para la explicación de muchos fenómenos que ocurrían en la naturaleza derivados simplemente de la presión atmosférica. La trascendencia de este descubrimiento lo hace el más importante de sus aportes.

En 1644 publicó “Opera geométrica” (Obra geométrica), donde expuso sus hallazgos sobre fenómenos de mecánica de fluidos y sobre el movimiento de proyectiles. Fruto de sus observaciones, perfeccionó el microscopio y el telescopio.

En su libro “De motu gravium”, (El movimiento de cuerpos pesados) basado en los aportes de Galileo sobre la caída libre de los cuerpos, probó el principio para el cálculo del flujo de agua por un orificio, estableciendo que era proporcional a la raíz cuadrada de la altura h , sobre el orificio. Hay que subrayar que la ecuación (1):

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

como se conoce hoy, tuvo que esperar un siglo para que se le introdujera explícitamente el factor $2g$ (Rouse and Ince 1957). Por esta contribución algunos consideran a Torricelli como fundador de la Hidrodinámica.

Torricelli fue el primero en dar una correcta explicación científica acerca del viento y su importancia expresando “los vientos son producidos por la diferencia de temperatura del aire y por tanto de su densidad, entre dos regiones de la Tierra” (O'Connor and Robertson 2002).

Sus aportes acerca de la existencia del vacío cambiaron el punto de vista de la ciencia hasta ese momento. Sus trabajos fueron conocidos y aplicados en Francia y en Inglaterra. Blaise Pascal demostró las variaciones de la presión atmosférica según las condiciones climáticas y la altura mientras que Robert Boyle llevó a cabo diversos estudios sobre la elasticidad del aire iniciándose una carrera por perfeccionar los instrumentos de medición en este campo.

Torricelli, fue inspirador del uso del método experimental demostrando durante su vida, grandes habilidades para el uso, construcción y perfeccionamiento de instrumentos. Es considerado pionero de la escuela italiana de hidráulica. Su nombre no puede ser separado de los de Galileo y Castelli con quienes colaboró estrechamente, manteniendo una gran amistad.

La calidad de sus telescopios fue reconocida incluso casi tres siglos después de su construcción. Lamentablemente, muchos de sus aportes científicos y matemáticos nunca fueron publicados y no pasaron a la posteridad. Contrajo fiebre tifoidea y murió con solo 39 años.

EDME MARIOTTE

Uno de los físicos más notables de la primera mitad del siglo XVII fue Edme Mariotte (1620 – 1684). Aunque no existen documentos que lo prueben, la mayoría considera que nació en Dijon y que fue prior de un monasterio cerca de este lugar en Francia (Mahoney 2008).

Muy conocido porque descubrió, independientemente de su colega británico Robert Boyle, la ley de compresibilidad de los gases, conocida como ley de Boyle - Mariotte; fue uno de los pioneros de la física experimental en Francia y es considerado su fundador debido a la extensión, precisión y diversidad de sus trabajos. Su nombre aparece pocas veces asociado con la Hidráulica, sin embargo, el alcance y originalidad de sus observaciones sobre el movimiento de los fluidos hacen que merezca el lugar de estar al frente de la Escuela Francesa de Hidráulica y al menos a la par de sus contemporáneos italianos. Entre 1654-1658 ejerció como profesor de Física (Peláez 2011).

En 1660 emprendió investigaciones sobre las deformaciones elásticas de los sólidos y enunció una ley al respecto. En su tratado “De la naturaleza del aire” de 1676 formuló la ley de compresibilidad de los gases: "a temperatura constante, el volumen de un gas varía en razón inversa a su presión". Mariotte también realizó estudios sobre óptica, hidrodinámica y mecánica de fluidos, y fue autor de numerosos escritos sobre la visión, los colores, las previsiones meteorológicas, los movimientos de los fluidos o los choques entre cuerpos. Mariotte desempeñó un papel muy importante en la fundación en 1666 de la Academia de Ciencias de París y fue miembro colaborador hasta su fallecimiento.

De gran importancia para la hidráulica fue su “Tratado del movimiento del agua y de otros cuerpos fluidos” publicado en 1686, después de su muerte. En este trabajo dividido en cinco partes trata en la primera sobre las propiedades del agua, luego trata el equilibrio de los fluidos, a continuación presenta aspectos relacionados con el flujo del agua, luego aborda el tema de la trayectoria de los chorros líquidos y por último, lo relacionado con suministro de agua y la resistencia de las tuberías. Todos los temas fueron estudiados con observaciones experimentales del autor, incluyendo a menudo técnicas originales y un esfuerzo permanente por brindar resultados útiles (Rouse and Ince 1957).

Sus trabajos sobre pérdidas en tuberías fueron cualitativos. Se pronunció contra el uso de cambios bruscos en la dirección del flujo debido al incremento de la resistencia. Supuso, erróneamente, que las pérdidas de carga dependían solo de la velocidad de circulación.

Los informes de Mariotte acerca de los resultados de sus experimentos sobre el impacto de los chorros de agua tienen el interés particular de que constituyeron la primera referencia en la literatura de que la fuerza ejercida por el agua en movimiento varía con el cuadrado de su velocidad.

Como dato curioso debe señalarse, que Mariotte explicó el fenómeno del punto ciego del ojo demostrando que si colocaba una moneda en un cierto punto el ojo no lo percibía (Peláez 2011).

En el último de sus ensayos, el tema principal es la naturaleza del color. En el mismo se describen numerosos experimentos curiosos, y también un análisis en profundidad del arco iris.

Sus trabajos fueron conocidos por la Royal Society y fue citado por Newton en su Principia. Mariotte mantuvo frecuentes intercambios con Leibniz acerca de diferentes temas. Falleció en París en 1684.

DOMÉNICO GUGLIELMINI: PADRE DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL

Doménico Guglielmini (1655 – 1710), maestro por vocación, es considerado por muchos como el fundador de la Escuela Italiana de Hidráulica y el primero en escribir un Tratado sobre Hidráulica Fluvial: “Della natura de’ fiumi” (La naturaleza de los ríos) prácticamente el único en su género durante más de dos siglos (Pérez S/F).

Nacido en Bolonia estudió matemáticas y medicina en su ciudad natal. Sus estudios estuvieron basados más en la observación de los fenómenos que en la experimentación y sus trabajos fueron más de campo que de laboratorio (Rouse and Ince 1957). Muchas de sus observaciones de campo fueron del tipo de las aparecidas en las notas de Leonardo y en ellas se encuentran sugerencias de varios perfiles superficiales característicos, ahora reconocidos como de flujo en canales abiertos.

Estuvo completamente de acuerdo con lo planteado por Castelli acerca de la ley de continuidad y reconoció desde sus propias verificaciones la ley de Torricelli estableciendo que la velocidad del flujo variaba con la raíz cuadrada de la carga. Él fue el primero en aceptar la hipótesis de que la distribución de velocidades en un río era parabólica con la velocidad cero en su vértice colocado en la superficie del agua. Sin embargo, él comprobó en sus propias observaciones que esto no estaba acorde con la realidad. Razonó entonces que la distribución parabólica podría ser una característica de un fluido perfecto pero que la resistencia del fondo del canal y la viscosidad del agua hacía que la máxima velocidad se desplazara por debajo de la superficie libre del agua.

Guglielmini fue el primero en reconocer la existencia de un flujo uniforme en canales abiertos al establecer el equilibrio entre la tendencia del agua a incrementar su velocidad por la pendiente del terreno y la acción opuesta de la resistencia del cauce, cuando planteó que “el agua, al iniciar su recorrido en el cauce de un río, va acelerándose, pero pronto se reduce al movimiento uniforme por las grandes resistencias que encuentra en su avance, como son la poca declividad de los cauces mismos, las grandes desigualdades de los fondos muy a menudo llenos de cantos o grava, los obstáculos laterales, en las riberas, las tortuosidades de los ríos, etc. La velocidad uniforme así adquirida es normal tanto mayor cuanto mayor es la pendiente del cauce” Sin embargo, él no fue capaz de plantear cuantitativamente la ley de resistencia (Rouse and Ince 1957).

Sus ideas acerca del comportamiento de los sedimentos fueron las más precoces y precisas de su tiempo: “la única finalidad por la cual he creído tener que averiguar la caída necesaria para un río, ha sido la de asegurarme de que el mismo no azolve el lecho con depósitos, por ser esta insuficiente, y no lo socave demasiado, con notable daño para las orillas, si esta es mayor de lo necesario” (Potenciani 2010).

Para que haya erosión, “se requiere que la fuerza que desgasta supere la resistencia de la tierra u otro material que forma el lecho del río;... además, es evidente que un río no irá profundizando su cauce al infinito... por tanto, hay que reconocer que, en cuanto el río se socava, o bien la fuerza del agua va debilitándose poco a poco, o bien la resistencia del terreno va creciendo, o bien aquella disminuye y esta crece a un mismo tiempo, hasta que se alcanza una especie de equilibrio (Potenciani 2010).

Guglielmini fue nombrado ‘Intendente General de las Aguas’ en Bolonia en el año 1686, por sus conocimientos de las mismas en una zona problemática llena de cursos de agua y con

inundaciones frecuentes. También en el año 1698 la República de Venecia, urgida por problemas fluviales, lo llama y le hace encargos de hidráulica y lo nombra Profesor de Matemáticas en la Universidad Paduana.

Entre sus trabajos tenemos obras de Hidráulica, de Química, Cristalografía, Medicina, Física y Astronomía, pero su obra más importante y de mayor divulgación fue “Della natura de' fiumi: trattato fisico-matemático” (De la naturaleza de los ríos: tratado físico- matemático) de 1697. También escribió “Aquarum fluentium mensura nova methodo inquisita” (Nuevo método para la medición de las aguas que fluyen), “Opera omnia mathematica, hydraulica, medica et physica” (Las obras de todos los objetos de la matemática, hidráulica, medicina y física).

Fue miembro de distintas sociedades científicas. En 1686, fue el primer italiano en ser reconocido como miembro de la Academia Francesa de Ciencias. También perteneció a la Royal Society de Londres desde 1687. Ese mismo año fue Miembro de la Cámara de Geografía Náutica (Potenciani 2010).

Los últimos años de su vida se vio forzado a dedicarse a la medicina, profesión que le permitió una vida más holgada. Falleció a los 54 años víctima de una hemorragia cerebral.

Después de Guglielmini todo está listo para los grandes avances de la hidráulica en el siglo XVIII. Sus trabajos de observación y experimentación con el agua real constituyen un llamado a los científicos para que desvíen su atención hacia los problemas prácticos que los ingenieros han venido atendiendo durante miles de años.

A pesar de la trascendencia de su obra, su nombre es poco conocido, incluso entre los ingenieros dedicados a esta rama de la ciencia.

CONCLUSIONES

- Los aportes de Leonardo y Galileo contribuyeron de manera notable al crecimiento de la aún naciente Ciencia de la Hidráulica. La observación y la experimentación comenzaban a ser la base del razonamiento científico ganando en fiabilidad y frecuencia.
- El descubrimiento de la acción de la atmósfera, como la razón del vacío, había cambiado el punto de vista de la ciencia hasta ese momento. Este, quizás, fue el aporte más importante realizado por Torricelli en toda su vida.
- Edme Mariotte y Doménico Guglielmini, poco mencionados por la literatura especializada en esta temática, merecen, por sus aportes, un lugar destacado en la historia de la Hidráulica Experimental.
- Los aportes científicos no existen independiente unos de otros. Sin los aportes de Leonardo, Galileo y de tantos otros que los precedieron, no hubiera sido posible el nacimiento de la Hidráulica Experimental.
- La fundación de la Escuela Italiana de Hidráulica, la primera en ser formada y la única que existió antes de la mitad del siglo XVII, fue decisiva para el desarrollo de la Hidráulica.

REFERENCIAS

- Biblioteca Pública de Cuenca** (2007). “Leonardo da Vinci”, Servicio de Información y Referencia, Cuenca, Castilla La Mancha, España, extraído de: www.bibliotecaspublicas.es/cuenca/publicaciones/publicacion9270.pdf en octubre 2014.
- Martínez L. G.** (2003). “Revolución Científica”. Monografías.com S.A., extraído de: <http://www.monografias.com/usuario/perfiles> en enero 2015.
- Mahoney M. S.** (2008). “Edme Mariotte” Encyclopedia.com, extraído de: http://www.encyclopedia.com/topic/Edme_Mariotte.aspx en diciembre 2014.
- Manzanares J.** (1996). “El agua simulada”, Real Academia Sevillana de Ciencias, Sevilla, España, extraído de: http://www.ayesa.com/sites/default/files/.../1996_EL_AGUA_SIMULADA.pdf en noviembre 2014.
- O'Connor J. J. and Robertson E. F.** (2002). “Evangelista Torricelli”. School of Mathematics and Statistics University of St. Andrews, Scotland, extraído de: <http://www.history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Torricelli.html> en enero 2015.
- O'Connor J. J. and Robertson E. F.** (2012). “Benedetto Antonio Castelli” School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland, extraído de: <http://www.history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Castelli.html> en enero 2015.
- Peláez G.** (2011). “Edme Mariotte”, Biografías y vidas. La enciclopedia Biográfica en línea, extraído de: <http://geraldine-pelaez.blogspot.com/> en enero 2015.
- Pérez B.** (S/F). “Nace la hidráulica fluvial”, Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, extraído de: <http://hidraulica.umich.mx/bperez/nacelahidraulicafluvial.htm> en octubre 2014.
- Pino F.** (2013). “Vida de Galileo Galilei: un genio reprimido”, Ojo Curioso, Curiosidades de Ciencia y Tecnología, extraído de: <http://curiosidades.batanga.com/2011/09/26/vida-de-galileo-galilei-un-genio-reprimido> en diciembre 2014.
- Potenciani J.** (2010). “La Universidad de Padua, forjadora de pensamiento médico científico moderno. Cap. 6. Siglo XVII”. Portales médicos.com, extraído de: <http://www.portalesmedicos.com/> en diciembre 2014.
- Riaño F.** (2014). "El Nacimiento de la Hidrodinámica Teórica". Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 34, no. 2, pp. 66-78. CIH, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Rouse H. and Ince S.** (1957). “History of Hydraulics”. Iowa Institute of Hydraulic Research. State University of Iowa. Iowa. USA.