



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19029

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

¿ECUACIÓN DE BERNOULLI?, UNA HISTORIA POR CONTAR

Íñiguez-Covarrubias Mauro¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec Morelos, México. C.P. 62550

mic_tlalte@hotmail.com

Resumen

Les contaré aquí una parte de la historia de la “mecánica de fluidos”, su naturaleza interna en la formación de universitarios y su impacto en el desarrollo de la ingeniería en México. Por ser ustedes miembros distinguidos del cuerpo de ingenieros de este país, les resonare las biografíaís y obras de muchos de los destacados científicos, expertos o profesionales. No son los únicos personajes de la historia por contar, pero al paso de los años sólo van quedando los que por diversas circunstancias de la vida recordamos, o aquéllos que por alguna característica en particular no son olvidados por los historiadores.

Palabras claves: Hidráulica, Mecánica de fluidos.



Introducción

En el currículum de la licenciatura en ingeniería (civil, irrigación, etc.) hay cursos de Hidráulica 1, 2, 3... o de Fundamentos de Hidráulica, los cuales son impartidos en los semestres intermedios de las respectivas áreas. Estas asignaturas son llamadas así, de forma curricular, por tradición, siendo que muchas universidades son autónomas.

Las ecuaciones llamadas “ecuaciones fundamentales de la hidráulica” son tratadas de forma acostumbrada, y a partir de ellas, se realizan toda aplicación en problemas sobre estructuras llamadas “hidráulicas”. Pero presentar así la mecánica de fluidos o hidráulica en cursos de nivel de licenciatura hace que no logren abarcar a cabalidad la teoría de dicha disciplina.

En tales condiciones se manifiesta una falta de compromiso por parte del sistema de enseñanza, lo cual hace que al alumno se le prive de acceder al conocimiento de una de las áreas más ricas y de gran tradición en la cultura del hombre.

En este contexto, considero necesario hacer una pausa para reflexionar y luego presentar algunos pasajes de la historia aplicada a la ingeniería en concordancia con las exigencias del sistema enseñanza-aprendizaje correspondientes a los tiempos actuales del desarrollo tecnológico, y respondo a través de: Una historia por contar.

Una historia por contar

Si nos funcionan bien nuestros sentidos, siempre podemos observar y apreciar cambios en nuestro alrededor: el movimiento de las hojas, de los árboles, de los vehículos, del agua; se producen sonidos, luz, calor. Estos cambios que se suceden llevan el nombre de “fenómenos” y se efectúan en los cuerpos, los cuales son materia; esa capacidad que poseen los cuerpos para producir cambios se llama energía, y es aquí donde empieza nuestra historia.

En la mecánica clásica, la primera designación hecha a una ecuación se atribuye a René Descartes (1596-1650), quien nombró Momentum la unión de la masa y la velocidad (mv). Más tarde, éste sería el principio de la ecuación de la Ley de la inercia. A Descartes se le llama “el padre de la Geometría analítica”, y es precisamente en honor a él que todo un sistema de referencias se llama “coordenadas cartesianas”.

El viaje de la ciencia se origina en el caso de Galileo, y la difusión del conocimiento recorre toda Europa: de Italia llega a San Petersburgo, y cualquier país que no dominara la ortodoxia católica.

La ruta del Momentum rebasa lo establecido científicamente, y llega entonces Sir Isaac Newton (1642-1727) con la segunda ley. La derivada del Momentum respecto al tiempo es la fuerza que actúa sobre el cuerpo, y si m es invariante respecto al tiempo, resulta la ley que dice: “Un objeto sólido se acelerará (o desacelerará) invariablemente si se ve



empujado por alguna fuerza". Es de resaltarse el día del nacimiento de Isaac Newton, el 25 de diciembre, porque en su pueblo se decía que el hecho de que alguien naciera sin padre (el suyo había muerto en batalla, por defender al Rey) sería un gran hombre.

Nace el cálculo diferencial e integral y crece la disputa entre los bandos de Sir Isaac Newton y Gottfried Wilhelm Leibniz por la autoría de tal avance. A la postre, Leibniz, sería llamado "El último genio universal". No obstante, sus merecimientos para ello, y pese a que reconocía la vastedad de su obra, para Voltaire no había en toda ella nada útil que fuera original, ni nada original que no fuera absurdo y risible. Así lo puso en su obra *Cándido*, y así se manifestaba la disputa entre los dos bandos.

Siguiendo adelante, diré que la familia Bernoulli es una familia de matemáticos y físicos suizos procedentes de la ciudad de Basilea, que irrumpió en el mundo científico a finales del siglo XVII. El fundador de esta familia fue Jacob el viejo, nacido en Amberes (Bélgica), un hugonote (antiguo nombre otorgado a los protestantes franceses de doctrina calvinista) que se trasladó a Basilea en 1622 por causa de la persecución religiosa.

Tuvo un hijo, Nikolaus, quien a su vez tuvo dos hijos que más tarde se convertirían en matemáticos de primer orden: Jacob, nacido en 1654, y Johann, nacido en 1667. Ambos estudiaron la teoría del cálculo infinitesimal de Leibniz y desarrollaron aplicaciones de la misma. Los dos le escriben al gran matemático Leibniz, rogándole que les ayude, pero no reciben respuesta. No se desilusionaron. Jacob, por su dedicación y esfuerzo, entiende el cálculo infinitesimal. Se lo explica a su hermano Johann, y juntos empiezan a practicarlo.

Un día, sin esperarla ya, reciben la comunicación de Leibniz y se hacen amigos del sabio. Aunque en esta relación el menor Johann fue el más íntimo, fue a Jacob a quien impactó más el cálculo infinitesimal. Tanto en la familia Bernoulli como en otras se decía que, si Dios sabía por anticipado lo que sería el futuro de cada cual, entonces el cálculo era la técnica que debía usarse para leer la mente de Dios. Por otra parte, a Johann se le atribuye ser quien por primera vez llamó al cálculo integral por su nombre.

Tiempo después, en Francia, Johann se convirtió en el defensor de Leibniz en una polémica con Isaac Newton, por quien había sido el primero en concebir los principios del cálculo infinitesimal. La relación entre los hermanos Bernoulli se volvió insoportable, lo cual ocasionó que Johann emigrase a Holanda. En 1705 regresa a regañadientes, ya que su suegro es viejo y la hija quiere estar con el padre. En el camino a Basilea se entera de la muerte de su hermano, en sus adentros, le da mucho gozo.

Los hijos de Johann, Nicolaus II y Daniel, empiezan a crecer. Cuando regresan de los países Bajos, este último tenía ya cinco años (comenta que tiene recuerdos de los molinos de viento). Al llegar a la adolescencia, el propio Daniel tiene una serie de conflictos con su padre, que no quiere dejarlo ser matemático. Estudia sin el consentimiento paterno, cosa que tiempo después acaba por conmover al viejo Johann. Éste acepta y educa a sus dos hijos en las matemáticas.



Daniel ingresa en la Universidad de Basilea, donde estudia medicina. Rápidamente se da a conocer por sus grandes dotes, y al término de su preparación concursa por una plaza de catedrático. En aquellos lugares, cuando existía empate en el primer lugar, el afortunado ganador se elegía por sorteo. Daniel pierde dos veces, por lo cual sospecha que su padre está interfiriendo en la cuestión. Se va a Italia, donde escribe sus conocidas aportaciones en el campo de las matemáticas. Un amigo lo convence de que debe publicar sus notas, estos escritos lo dan a conocer y lo hacen notable.

Por otra parte, cosa de catorce siglos antes de Daniel Bernoulli existió Leonardo da Vinci (452-519), quien ya había documentado sus observaciones del movimiento de los fluidos. Leonardo se dio cuenta de que un río de profundidad uniforme irá más de prisa en un tramo más estrecho que en uno más ancho, y observó que la velocidad del agua se incrementaba en proporción directa al estrechamiento (Ley de continuidad). Recordemos que cuando se llega a los tiempos del Sr. Daniel Bernoulli, ya habían pasado las horas de Arquímedes de Siracusa (287–212 a.C.), con la formulación de la Ley del empuje, y de Blaise Pascal (1623-1662), con la demostración de la presión, o sea que la mesa estaba puesta.

Como tiene tantos problemas con su padre y llega la oportunidad de salirse de allí, Daniel emigra. Por el reconocimiento de sus aptitudes, es invitado por Catalina I de Rusia a dar clases en la recién fundada Academia de Ciencias de San Petersburgo. Para ello, es convencido por su hermano. Acepta, y de inmediato se pone a trabajar. Los antecedentes son su estudio del aire en los pulmones, durante la respiración del ser humano.

Ahora bien, conociendo la historia, recordemos que en aquellos años existía la creencia de que al desangrar una persona enferma (al sacarle sangre) se aliviaba. Por otra parte, Daniel ya concebía el cuerpo humano como una máquina compleja y sujeta a leyes científicas; reflexiona entonces sobre los problemas no resueltos del comportamiento de los fluidos.

Ley de la presión hidrodinámica (Ecuación de Bernoulli)

Su cuestión principal, escribe Daniel, es: ¿Cuáles son la velocidad y la presión dentro de un conducto con un fluido en movimiento? Es entonces cuando pierde a su hermano. Quiere regresar, pero por antecedentes invitan a Leonhard Paul Euler (1707-1783) a la Academia, y entonces trabajan juntos, sin parar. Daniel en el laboratorio, y Euler en el pizarrón.

Sabía que Edme Mariotte (1620–1684) (el de la ley hoy conocida como de Boyle-Mariotte), había conseguido medir la presión del agua, no cuando se movía dentro de un conducto, sino al salir de una tubería. Lo consiguió haciendo que el agua que salía del conducto chocara contra una pared acondicionada con un balancín de madera. Mariotte estimaba la fuerza, y de ahí la presión.

Por enseñanza de su padre, Daniel Bernoulli conocía la fórmula de Leibniz de la fuerza viva. Se decía que los cuerpos tenían una “ímpetu viva”. La observaban, por ejemplo, al



lanzar una pelota: ésta rebotaba y regresaba al mismo lugar desde el que había sido lanzada, o sea que perdía y recuperaba su “fuerza viva”. Recuérdese que Galileo hacía el mismo experimento deslizando un cuerpo sobre una pendiente. Así se dedujo la fórmula. Sólo que esta fuerza viva es para los sólidos.

Daniel Bernoulli, médico de profesión, sabía que al seccionar o pinchar una arteria se ve cómo brota la sangre con violencia. Al revisar los trabajos del médico inglés William Harvey (1578-1657) en el mismo sentido, concluyó que la altura de la sangre que brotaba es una medida directa de la presión existente en la arteria. Siguiendo esta idea experimentó en una tubería, agregando a la perforación un tubo capilar. Observó, esperó y tomó nota de que el agua subía formando una columna y se detenía a cierta altura. Lo había conseguido: esa altura era la medida de la presión del agua que fluye en un conducto.

Daniel relaciona entonces sus resultados experimentales con la “fuerza viva”, hace sus análisis y cálculos matemáticos, aplica el cálculo infinitesimal, las tres leyes de Newton, sustituye la masa por la densidad del fluido en la ecuación de la “fuerza viva” y llega a la ecuación conocida como “Ley de la presión hidrodinámica” (mal nombrada “Ecuación de Bernoulli”, en general, pues él se llamaba Daniel Bernoulli) que consta de dos términos, ecuación 1.

$$p + \rho v^2 = \text{constante} \quad (1)$$

Al comprobar, junto con la Ley de continuidad, que al disminuir el diámetro aumenta la velocidad y disminuye la presión, y que al aumentar el diámetro aumenta la presión y disminuye la velocidad, escribe sus resultados. Ya son claras entonces para él las dimensiones de las variables presión, densidad y velocidad, que todavía actualmente no lo son para muchos.

Fue Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) quien incluyó luego el 2 en el dividendo de la ecuación de la presión hidrodinámica, con lo cual quedó tal como es hoy en día.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{constante}.$$

Como un dato complementario, recordaré que fue Coriolis quien llamó “Trabajo” a la cantidad de fuerza por distancia, usualmente llamada en esa época “potencia mecánica”. Con él y Jean Poncelet (1788-1867), el teorema de la energía cinética toma su forma.

Sobre la Hidráulica e Hidrodinámica

Daniel Bernoulli decide abandonar San Petersburgo, y al llegar a la casa paterna se entera de que se le ha concedido el Premio Anual de la Academia de Ciencias de París de 1734, compartido con su padre, Johann Bernoulli, por diferentes trabajos. Son tantos los celos del padre, que lo corre de su casa esa misma noche. Es notorio que a partir de aquel año en el que ambos compartieron el premio mantuvieron una mala relación.

Daniel termina de escribir el libro sobre hidrodinámica (que sería publicado en 1738), manuscrito que documentó e inició en la Academia de Ciencias de San Petersburgo, y muestra en él todos sus logros y demás resultados que había obtenido.

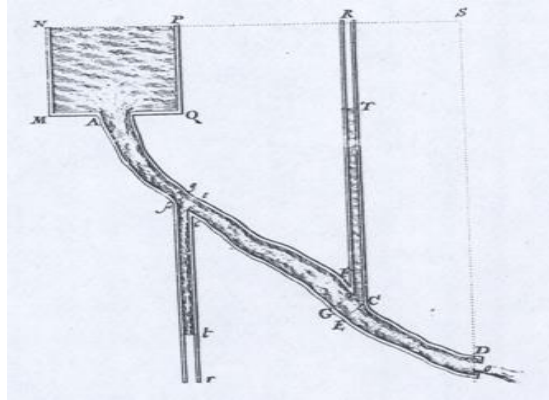


Figura 1 La hidráulica - estática

Comienza diciendo que la teoría de los fluidos tiene dos funciones, una de las cuales es la hidrostática, que trata la presión y el equilibrio de las partes en los fluidos, mientras que la otra es la hidráulica, considerando el movimiento de los fluidos, tales funciones han sido tratadas separadamente, y yo las trato en forma integral, llamándolas hidrodinámica. En seguida se muestra el libro en cuestión, se comentan algunos ejemplos de aplicación de la ley de la presión hidrodinámica: en la Figura 1 se resalta el tipo de problemas que resuelve y uno en particular tratando redes, este tipo de configuraciones las llama “La hidráulica – estática”.

Daniel le envía ejemplares de Hidrodinámica a Euler y colegas, incluyendo uno para la Emperatriz. Pasa el tiempo, y Daniel no recibe noticias. Vuelve a recordarle a Euler su encargo, y éste le contesta que no ha recibido nada. Él empieza a sospechar; son señales anormales, pasa el tiempo, meses, años. Y cuando le llega la noticia de que su documento fue al fin recibido, le llega también la de que su padre ha publicado un libro llamado *Hydraulica*, en el que se atribuye los descubrimientos de su hijo Daniel en la materia. La fecha de publicación es 1732, cuando realmente se había editado en 1745, o sea 7 años después del libro *Hidrodinámica*, de Daniel.

La dedicatoria de Leonhard Paul Euler en *Hydraulica* a Johann Bernoulli, diciéndole que aquí estaba todo lo dicho hasta la fecha, es prueba de la farsa que sostuvieron el propio Euler y Johann Bernoulli contra Daniel. Así que el nombre de *Hydraulica* empieza a popularizarse y el de *Hidrodinámica* queda en los armarios.

A partir de de aquel momento, con la aparición del libro *Hydraulica*, y no habiendo a quien apelar, Daniel Bernoulli se retira y no hace nada más por las matemáticas. Tampoco por los fluidos. Siempre sintió que lo habían robado. Le robaron la gloria que tanto soñó de joven, después de haber ganado diez premios de la Academia, sólo superado por Euler. Aquí se muestra la mezquindad de la sociedad que lo rodeaba: después de escribir tan bello poema en el lenguaje de las matemáticas, para que todos lo entendiéramos. Se



trata de una de las ecuaciones que cambiaron el mundo, y miren cómo se ha tratado a su autor. Menos mal que murió en paz, mientras dormía, a la edad de 82 años.

Conclusiones

Se espera que este relato y un servidor, al habérselos platicado, contribuyamos a esclarecer y enriquecer nuestro lenguaje como apasionado de ingeniería, ya que ese lenguaje nuestro, que es universal, son las matemáticas.

Al inicio de esta plática, cuando señalaba yo la falta de compromiso por parte del sistema de enseñanza, se concluye en base a la historia descrita se amplía nuestro horizonte científico.

Existen muchos libros de mecánica de fluidos y/o en el mundo, pero para las universidades, y a nivel licenciatura, sólo hay uno o muy pocos a pesar de que existen con clases magistrales grabadas, muchas horas de laboratorio y bastantes ejercicios. Pero, hay que recordarlo, esto no limita la iniciativa individual, (Recordar al gran Michael Faraday).

También están las asociaciones de profesionales (en México se pueden nombrar AMH, ANEI, etc.). Se espera que en el país que existe la charlatanería, como decían los alumnos de *West point*, respecto a los Estados Unidos de Norteamérica.

Hoy, la única garantía es una ciencia con ética y científicos comprometidos con la sociedad y con la naturaleza. Ni más, ni menos; cosas que se pueden decir en el COMEII.

Referencias Bibliográficas

- Bernoulli, Daniel, 1738. *Hidrodinámica*, Argenterati, Trabajo académico, Dover Publications, INC, Nueva York, 341 pp.
- Bernoulli, Johann, 1732 (falso), *Hydraulica*, Trabajo académico, Dover Publications, INC, Nueva York 200 pp.
- Gayol Roberto, 1930. "Estudio crítico de hidrodinámica", *Irrigación en México*, Comisión nacional de Irrigación, Tomo I, número 5, México, D. F., pp. 11-38.
- Guillen, Michael, 2011. *Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo*, Debolsillo. México.
- Levy, E., 1957, *Mecánica de los fluidos*, Instituto de ingeniería, México, UNAM, 266 pp.
- Levy, E., 2001, *El agua según la ciencia*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Avances en hidráulica 8, México, AMH-IMTA, 668 pp.
- Mankiewicz, Richard, 2000, *Historia de las matemáticas, del cálculo al caos*, México, Paidós, 191 pp.
- Peralta-F., R., 2003. *Fluidos, apellido de líquidos y gases*, FCE, La ciencia para todos/115, México, 151 pp.
- Sotelo-Ávila, G., 1979. *Hidráulica general*, México, Limusa, 277 pp.
- Webber, N. B., 1971. *Fluid Mechanics for Civil Engineers*, S. I. Edition, 340 pp.