

EL PRODIGIOSO SISTEMA ARTERIAL SEGÚN LA VISIÓN INGENIERIL

Durante muchísimos años, en mis clases teóricas de *Hidráulica General*, recurrí al ejemplo que nos brinda la naturaleza con el *sistema arterial* de los seres vivos de sangre caliente, cuando pretendía transmitir a mis alumnos la interpretación de la *ecuación de continuidad* en su forma más general para un *escurrimiento unidimensional*.

La perplejidad, que aumenta cada vez que lo pienso, me movió a plasmar algunos conceptos en el presente artículo, el que tiene como objetivo central destacar, entre los alumnos, docentes y profesionales vinculados con la *Hidráulica de las Conducciones*, como el cerebro y el sistema arterial de los seres vivos, resuelve en forma casi instantánea, un complejísimo problema hidráulico.

La ecuación de referencia válida para un tubo de corriente como el representado en la *Figura 1* (las arterias se adaptan perfectamente a la definición de tubo de corriente), es decir sin aportes ni pérdidas de caudales laterales, es:

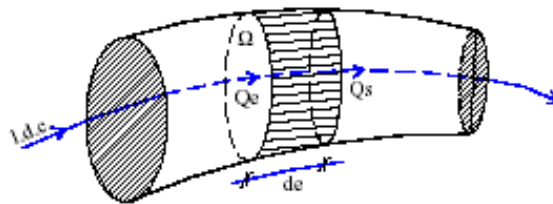


Figura 1
Tubo de Corriente

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \rho U \Omega \rangle + \frac{\partial}{\partial x} \langle \rho \Omega \rangle = 0 \quad (1)$$

La ecuación (1) constituye la *Ecuación integral de continuidad*, para *Escurremientos Unidimensionales (en tubo de corriente)* en la que el *Caudal de Masa Entrante* no varía con el tiempo. Su aplicación es trascendente en el análisis de la problemática de *escurrimientos impermanentes (transitorios)* tanto en *conducciones a presión* como a *superficie libre*. Y su deducción puede encontrarse en el *Capítulo 3* del libro de mi autoría "*Hidráulica General y Aplicada a la Ingeniería Sanitaria y Selección de tuberías*", actualmente en proceso de Edición por parte de EUDEBA).

La relativa *incompresibilidad* de los líquidos en los casos de la práctica, llevan a que la Ecuación integral de *Continuidad*, para $\rho = cte$ en el espacio y el tiempo, se reduzca a

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \Omega \rangle + \frac{\partial}{\partial x} \langle \Omega \rangle = 0 \quad (2)$$

La anterior es la expresión de la *Ecuación de Continuidad* para *Escurrecimiento Permanente, Unidimensional (en tubo de corriente)* de un *Fluido Incompresible*.

Obviamente, las ecuaciones (1) y sobre todo la (2) describen y cuantifican el escurrimiento *Unidimensional*, en función de la “Velocidad Media U ”, en la sección transversal Ω del tubo de corriente, la que puede variar con el recorrido l y el tiempo t .

Con el objetivo de que los alumnos comprendan el significado del segundo sumando y apelando a cierto grado de humor, formulaba a la clase (y lo sigo haciendo) la pregunta.... **¿Cómo definirían ingenierilmente la “ateroesclerosis”?**. Dejaba transcurrir unos segundos y yo mismo daba la respuesta ante la mirada desconcertada y mayoritariamente interesada de los alumnos....

¡... Bueno... cuando la variación de la sección transversal de la arteria en el tiempo tiende a anularse....! (Es decir cuando $\frac{\partial \Omega}{\partial t} \Rightarrow 0$) .

Destaco habitualmente durante las clases de referencia, que en el caso de los jóvenes, el sistema arterial, sumamente elástico, posibilita variaciones importantes de $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$ y que a medida que vamos envejeciendo, **esa derivada con respecto al tiempo tiende a anularse.**

Acto seguido apelaba al humor.... imaginando a un médico diciéndole a su paciente con “ateroesclerosis”...!..... **buenolo que a Ud. le pasa es que en sus arterias, la derivada de la sección transversal con respecto al tiempo tiende a ser nula....!... Es de imaginar el desconcierto y la perplejidad del atribulado paciente y lo improbable de que un médico recurra al diagnóstico de esta forma.**

Todo éste proceder surgió hace muchos años, de una casual consulta a un libro de Cardiología, texto obligado, por esos tiempos de la carrera de medicina y de la especialidad. En el mismo, extrañamente, aparecía la ecuación de continuidad de referencia, sin ningún tipo de explicación y a la que, obviamente, los estudiantes y profesionales de la medicina no le prestaban atención alguna.

La experiencia me enseñó que el ejemplo es válido para posibilitar la interpretación del segundo sumando de la ecuación de continuidad, la que obviamente y rigurosamente es aplicable para todo tipo de conducciones de aplicación en la Ingeniería, y les permite a los estudiantes **“internalizar”** el concepto mediante un ejemplo trascendente.

Pero éste ejemplo hizo que yo mismo fuera con el tiempo, **maravillándome cada vez más, de la perfección hidráulica que implica el sistema arterial de los seres vivos.**

En efecto, el presente artículo de divulgación y la abundante bibliografía técnica (muchas de ella propia de nuestras cátedras de la *FI UBA*) muestran lo dificultoso, laborioso y muchas veces imposible que resulta calcular con precisión, regímenes impermanentes en conducciones a presión.

Lo que me resulta realmente impresionante, es que ante la demanda de más sangre en un determinado lugar del cuerpo, y en forma prácticamente instantánea, el cerebro, en forma totalmente inconsciente y automática, envía el caudal requerido, no sólo enviando más sangre, sino que además aumentando la sección transversal de la arteria para posibilitar el aumento del caudal.

Es interesante reflexionar en lo intrincado que resultaría el cálculo del **caudal requerido** por una parte y el de su **envío por la red arterial** por la otra. La *ecuación (1)* o *(2)* sólo describe y eventualmente cuantifica el escurrimiento, y es de destacar la dificultad del cálculo correspondiente a la variación del caudal en el recorrido y al de la sección transversal de paso, necesaria para la eficiencia del escurrimiento de la sangre requerida.

Nada nos dice la ecuación que nos ocupa del caudal requerido. Por otra parte resulta impresionante que ese cálculo, el del caudal requerido y el de la variación del mismo en el recorrido y de la de la sección transversal en el tiempo, lo hace el cerebro en forma casi instantánea y soluciona así el problema suscitado, enviando la cantidad de sangre necesaria y facilitando su transporte con el aumento de la sección transversal de la arteria.

Claro está que la relatada es una increíble particularidad de los seres vivos, muy relacionada con nuestra materia, en especial a lo que hace a la ***Hidráulica de las Conducciones Unidimensionales.***

Por cierto existen muchísimas, innumerables diría yo, propiedades de los seres vivos tan espectaculares como la descrita, pero obviamente la tratada *nos toca muy de cerca* por constituir una red, muy sofisticada por cierto, *de conducciones unidimensionales a presión* y entendí oportuno destacarla en éste breve artículo para difundirla entre los especialistas en el cálculo y diseño de las mismas.

Ing. Luis E. Pérez Farrás
Profesor Consulto de la FI UBA
Director de la Carrera de Postgrado
En Ingeniería Sanitaria