

## Sobre “fricción” en fluidos en movimiento y en su frontera sólida y sobre la energía “perdida”

MSc. Ing. Zivko Gencel, Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú  
email: [zaugencel@yahoo.com](mailto:zaugencel@yahoo.com)

### RESUMEN

La enseñanza de la mecánica de fluidos, todavía hoy, trata la energía necesaria para el traslado de determinada masa de fluido como energía “perdida” en el proceso de superación de la “fricción” en el seno de un fluido en movimiento y a lo largo del contacto con la frontera sólida. Existen expresiones del inglés como “pressure head” que si se traducen como “cabeza de presión”, en vez de altura de presión, carecen de sentido. Los conceptos así llamados producen confusión si se contrastan con la primera ley de la termodinámica y con el sentido común. Se hace referencia a la ecuación de Bernoulli analizando el balance energético de fluidos reales en movimiento. Tales simplificaciones merecen ser corregidas en el siglo XXI al menos en la enseñanza universitaria.

**Palabras clave:** disipación de energía, ecuación de Bernoulli, enseñanza universitaria, fricción en seno de fluido, pérdidas de energía.

## About “friction” inside fluid mass in motion and along its solid boundary and about energy “loss”

### ABSTRACT

Common teaching in Fluid Mechanics considers the necessary energy to produce fluid mass movement as “energy loss” in the process of overcoming “friction” inside the moving fluid mass. Both concepts should be renamed in order to get closer to what they are in the scientific truth. The concept of energy “loss” during fluid transport is a contradiction as far as the first law of thermodynamics is concerned. Reference is made to the equation of mechanical energy for real fluids in movement, well known as Bernoulli equation. This kind of simplifications should be corrected in the XXI century at least for the sake of college education.

**Keywords:** energy dissipation, energy loss, Bernoulli equation, friction inside fluid in motion, college education.

## ¿QUÉ ES LA FRICCIÓN?

Según los avances de las investigaciones sobre fricción se conoce hoy que la fuerza que se opone al movimiento relativo de dos cuerpos (sólidos) uno por encima del otro depende de (Kurtus 2011):

- la rugosidad de sus superficies
- las fuerzas de adherencia entre las moléculas de ambas materias
- el efecto de “arado” o efecto de deformación de la superficie inferior hecha de materiales mas blandos y fácilmente deformables

Si se quisiera hablar de “fricción” en el seno de fluidos en movimiento obviamente no se encuentra semejanza con la descripción de fricción entre sólidos. Las moléculas tienen tal grado de libertad de movimiento que pueden abandonar la superficie del fluido expuesta a la atmósfera o a otro fluido de menor densidad sin necesidad de ejercer fuerza abrasiva alguna sobre esta superficie.

Se dice que aquella parte del fluido junto a la frontera sólida no participa en el movimiento estando adherida a la frontera con velocidad cero y causando por viscosidad el retraso de adyacentes capas de fluido que solo a cierta distancia alcanzarán el movimiento plenamente desarrollado.

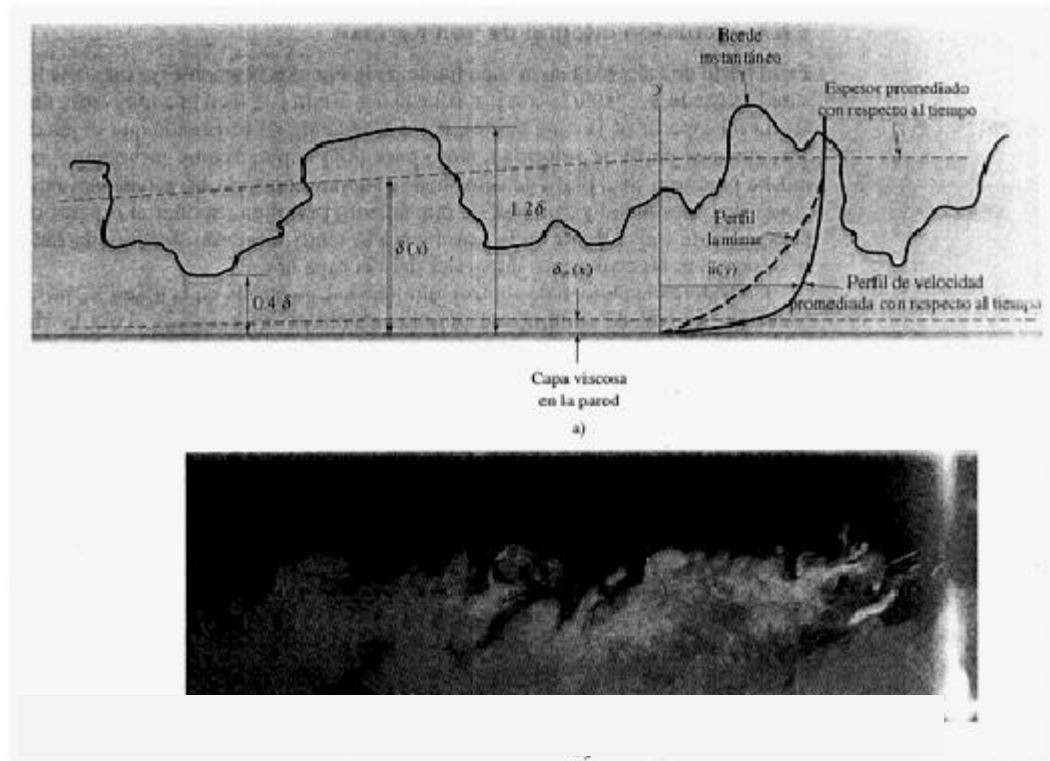
Es de reconocer que el término de “fricción” se originó muy temprano en las investigaciones de física cuando los alcances tecnológicos no las podían apoyar hasta el detalle necesario para el esclarecimiento completo de las hipótesis. En consecuencia, fue adoptado en relación con el movimiento de fluidos y se quedó así hasta hoy.

## ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL MOVIMIENTO DE FLUIDOS

Es indudable la semejanza entre las consecuencias del movimiento de un fluido sobre una pared sólida con las del movimiento relativo entre dos sólidos en contacto: una parte de la energía disponible para el movimiento se transforma a lo largo del camino en energía calórica. Sin embargo, lo que realmente sucede a nivel molecular es radicalmente diferente.

Las moléculas de fluido, libres de abandonar la masa que conforman por la energía que poseen (energía interna) aparentemente experimentan mayor atracción por el material de la pared sólida que entre ellas mismas y, como consecuencia, la capa de fluido adyacente a la pared se queda inmóvil ejerciendo sobre el resto del fluido un efecto retardador.

El movimiento de dos fluidos, o de dos secciones de fluido entre sí, se desacelera por la atracción molecular. En este caso *no se considera fricción y el fenómeno se investiga en el complejo campo de la dinámica de los fluidos.*” (Kurtus 2011). ¿Cómo se puede explicar lo que sucede? Para ello es necesario observar las fotografías de la capa límite en los ejemplos extraídos de Potter et al. (2003).



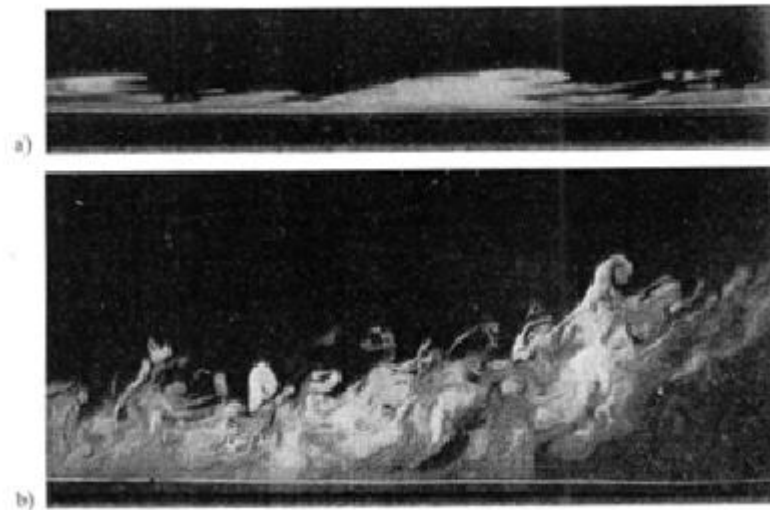
**Figura 1.** Capa límite turbulenta: a) diagrama de nomenclatura; b) sección a lo largo de la capa límite del flujo.

Si se compara esta figura 1 con la imagen tradicional de la capa límite de un flujo turbulento (que son 99.99% de flujos reales) se hace evidente la tremenda diferencia entre la teoría clásica de la capa límite con lo que se presenta en la gráfica de la reconstrucción explicativa por encima de la foto. La impresión se fortalece con la figura 2 extraída de la misma fuente.

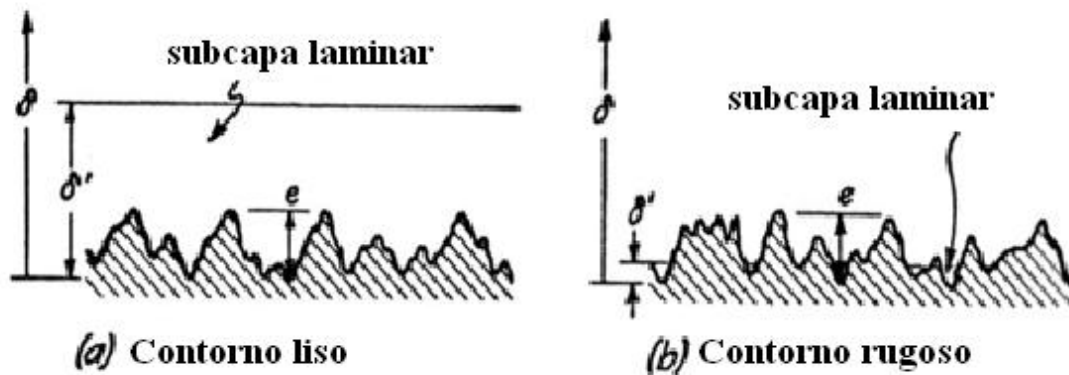
De otra referencia (Albertson et al. 1960) se presenta el razonamiento sobre tuberías lisas y rugosas (figura 3).

Es evidente que si se le asigna a la subcapa laminar un espacio tan reducido y discontinuo como en el caso b) de frontera rugosa, hay que pensar que simplemente la subcapa límite *no existe!* En el caso de la subcapa laminar sobre la frontera lisa es necesario preguntarse: *¿cómo es posible hablar de flujo laminar si se tienen zonas en las que se puede esperar únicamente formación de presiones adversas?* Estas realidades exigen una explicación razonable y más aún para alguien que recién está incursionando en el campo de la mecánica de los fluidos.

En el artículo de Ghila et al. (2004) se ha estudiado el proceso de bifurcación del flujo bidimensional no compresible junto a la condición de frontera sin deslizamiento y su relación con la separación de la capa límite. Se demuestra que la bifurcación estructural ocurre cada vez que aparezca un punto singular degenerativo de la vorticidad en la frontera.



**Figura 2.** Influencia de un fuerte gradiente de presión en un flujo turbulento: a) un gradiente negativo puede relaminarizar el flujo; b) si es positivo hace engrosar la capa límite.



**Figura 3.** Definición de contorno liso y rugoso

Este punto singular se caracteriza por una segunda derivada tangencial y la derivada de tiempo de la vorticidad no iguales a cero. *Se ha comprobado la presencia del gradiente de presión adverso en el punto crítico debido a la alteración de la dirección de la fuerza de presión respecto al flujo básico viscoso (caracterizado por la presencia de esfuerzos cortantes) en ese punto.* Por lo expuesto se ofrece una interpretación lógica de lo que sucede en la capa límite: en la capa límite se genera una serie de vórtices motivada por irregularidades de la superficie de la frontera sólida.

Este fenómeno, sin embargo, no tiene características análogas al fenómeno físico presente en el caso de fricción entre dos sólidos en contacto. Sin embargo, se usan todavía hoy para describir lo que sucede en el contacto del fluido con la frontera sólida sobre la cual se desliza. Esta conclusión no se debilita por el hecho de que hoy se admite la influencia de fuerzas intermoleculares sobre la fricción en sólidos, ya que en ese caso las uniones entre las moléculas son muchísimo más fuertes que en los fluidos y la movilidad es sumamente restringida.

### **LA ENERGÍA "PERDIDA" POR "FRICCIÓN": UNA DOBLE BLASFEMIA FÍSICA**

Entonces, deseando describir en términos reales lo que sucede cuando se mueve un fluido sobre una frontera sólida, es necesario aplicar las conclusiones del apartado anterior. Las irregularidades de la superficie de la frontera sólida (que pueden ser microscópicas) causan vorticidades en el seno del fluido o, en otras palabras, movimientos inútiles para el propósito principal del movimiento.

Estos movimientos consumen la energía del flujo principal y en eso se parecen mucho a la sobrevivencia de parásitos a cuenta de un organismo vivo. De la comparación de las vorticidades con parásitos surge la idea de reemplazar la ya establecida definición de "pérdidas por fricción" por la de *disipación de energía* en el tramo que recorre el fluido en movimiento a causa de *flujos parásitos*.

El autor considera también que el término de pérdidas no es el más apropiado desde el punto de vista de la primera ley de termodinámica a pesar de que "pérdida" se entiende, entre otros significados sinónimos, como algo que se ha vuelto inútil. Pero, en esencia, hace pensar más en destrucción o desaparición.

Si en vez de decir "pérdidas por fricción" se dice "disipación de energía" en un tramo o localmente, la frase se aproxima más a lo que realmente ocurre. Lo que sucede es que las vorticidades representan un movimiento no deseado de determinada masa de fluido que se mantiene todo el tiempo que dura el movimiento del fluido, gracias al consumo de una parte de la energía del flujo principal.

No importa si se trata de una micro-vorticidad (debido a irregularidades de la frontera sólida) o una macro-vorticidad (por cambios locales en la macro-geometría) ya que en ambos casos el producto final es la micro-vorticidad, la de nivel molecular, en la que se eleva el nivel de energía interna del conjunto molecular y se manifiesta con una mayor medida de energía calórica.

Ahora, si se adopta en la enseñanza universitaria el uso de estos términos propuestos, el estudiante puede asimilar con más lógica lo que sucede aparte de que, realmente, eso es lo que sucede – no se están inventando términos para describir algo presumido teóricamente sino que se describe el fenómeno con la terminología adecuada.

## **TRADUCCIONES CONFUSAS Y ECUACIONES CON NOMBRE INCORRECTO**

Las traducciones de textos de un idioma al otro a menudo se confían a personas no especialistas o a especialistas en formación. Así ocurre que la expresión “pressure head”, perfectamente válida en el idioma inglés, por una suerte aleatoria se ha establecido en muchos textos como “cabeza de presión”, la traducción literal y confusa. En su lugar existe el término más apropiado de “altura de presión”. También se puede decir dice “altura de velocidad”, y ambos términos provienen de la forma de la “ecuación de energía mecánica” más frecuentemente usada expresando la energía por unidad de peso (fuerza) del fluido.

Dicha ecuación, conocida como ecuación de Bernoulli, sin desconocer la genialidad de su creador en el momento de presentarla al mundo de la ciencia física, no es aplicable para todo el universo de los fluidos reales. Sin embargo, se cita como tal en muchos textos universitarios y manuales. “La ecuación de energía mecánica” según Gerhard et al. (1995), es un nombre justo para la ecuación de balance energético de los fluidos reales y, a pesar de representar la verdadera situación, se usa muy poco todavía.

## **CONCLUSIONES**

La única intención de este trabajo es exponer a la comunidad científica unas hipótesis que eventualmente requieren mayores pruebas para ser declaradas plenamente válidas.

El autor recomienda variar la terminología aplicada para el descenso del nivel energético a lo largo del recorrido del fluido empleando la expresión “disipación de energía debida a flujos parásitos” en contacto con la frontera sólida y localmente (debido a cambios locales de su geometría). En pocas palabras, donde las líneas de corriente no pueden adaptarse a la variación de la geometría de las fronteras (micro o macro-variaciones) se forman vorticidades que son responsables de consumir parte de la energía del flujo principal.

Llamar a este fenómeno como “pérdida de energía debido a la fricción” es burdo e inexacto y, en última instancia, está en contradicción con la realidad de los fenómenos que caracterizan el movimiento de los fluidos.

La comunidad científica debería exigir que esos términos inconvenientes y ampliamente usados sean reemplazados por los más correctos. La dificultad de conducir un cambio de tal naturaleza se puede comparar con el cambio inducido en los años setenta del siglo pasado del sistema de unidades dando lugar al uso universal oficial en física del sistema internacional de unidades. Naturalmente la enseñanza universitaria siempre lidera los cambios que deben introducirse.

También se quiere dejar en claro que el presente trabajo no toca en absoluto la interpretación matemática clásica de la capa límite, la misma que, junto con las ecuaciones de Navier-Stokes todavía se emplea con relativo éxito en la modelación hidráulica matemática sin importar que no se ajuste debidamente a la realidad física.

## REFERENCIAS

- Albertson, M.L.; Barton, J.R. and Simons, D. B.** (1960). "Fluid Mechanics for Engineers", Prentice- Hall, INC, Englewood Cliffs, N.J.
- Gerhart, P.; Gross, R. y Hochstein, J.** (1995). "Fundamentos de Mecánica de Fluidos", Addison-Wesley-Iberoamericana, Wilmington, Delaware, E.U.A. .
- Ghila, M.; Liuc, Jian-Guo; Wangd, Cheng and Wange, Shouhong** (2004). "Boundary-layer separation and adverse pressure gradient for 2-D viscous incompressible flow". Se encuentra disponible en línea en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), © Published by Elsevier B.V.
- Kurtus, R.** (2011). "Causes of friction". Physical Science, School for Champions. Copyright © Restrictions.
- Potter, M. C.; Wiggert, D. C.; Hondzo, M. y Shih Tom, I.P.** (2003). "Mecánica de Fluidos", Thompson, Bogotá, Colombia, 3ª edición.