Las bacterias pueden depender de la difusión para alimentarse, pero los organismos grandes necesitan una infraestructura elaborada de sistemas de entrega y eliminación de desechos. Prácticamente todas las criaturas macroscópicas, por lo tanto, tienen una o más redes vasculares que transportan sangre, savia, aire, linfa, etc. Típicamente, estas redes tienen una estructura jerárquica y ramificada: la aorta humana se divide en las arterias ilíacas, y así sucesivamente, hasta llegar a los lechos capilares que realmente nutren el tejido.

Para tener una idea de algunas de las restricciones físicas que gobiernan tales redes, tomemos un momento para resolver uno de los problemas de flujo de fluidos más simples: el flujo laminar constante de un fluido Newtoniano simple a través de un tubo cilíndrico recto de radio R (Fig.1.). En esta situación, el fluido no se acelera en absoluto, por lo que podemos despreciar el término inercial en la Ley de Newton incluso si el número de Reynolds no es muy pequeño.

Imagen que contiene tabla, computadora, refrigerador, escritorio

Descripción generada automáticamente

Figura 1: En el flujo laminar en tubería, el fluido interno se mueve más rápido que el fluido externo, que debe estar inmóvil en la pared de la tubería (la condición de frontera de no deslizamiento). Imaginamos capas cilíndricas concéntricas de fluido deslizándose unas sobre otras.

Debemos empujar un fluido para hacerlo viajar por un tubo, con el fin de superar la fricción viscosa. La pérdida por fricción ocurre en todo el tubo, no solo en las paredes. De la misma manera que en los apuntes sobre fricción viscosa, en la geometría cilíndrica, la cizalla se distribuirá a través de toda la sección transversal del tubo. Imagina el fluido como un conjunto anidado de cilindros concéntricos. El cilindro a una distancia desde el centro se mueve hacia adelante a una velocidad , que debemos determinar. La función desconocida interpola entre las paredes estacionarias (con ) y el centro (con velocidad de fluido desconocida ).

Para encontrar equilibramos las fuerzas que actúan sobre el cilindro situado entre y . El área transversal de este cilindro es , por lo que la presión aplicada contribuye con una fuerza dr dirigida a lo largo del eje del tubo. Una fuerza viscosa del fluido que se mueve más lentamente a un radio mayor tira hacia atrás del cilindro, mientras que el fluido que se mueve más rápido a un radio menor lo arrastra hacia adelante con una tercera fuerza, . Para un tubo de longitud , la regla de fuerza viscosa es:

(1)

Utilizando (1) obtenemos:

(2)

(3)

Ten en cuenta que es una cantidad negativa, mientras que es positiva. El equilibrio de fuerzas es entonces la declaración de que . Dado que es muy pequeño, podemos evaluar en el punto usando una serie de Taylor, despreciando términos con más de una potencia de dr:

(4)

Así que, al sumar a obtenemos . Al añadir y requerir que la suma sea cero, obtenemos:

(5)

Esta es una ecuación diferencial para la función desconocida . Puedes verificar que su solución general es , donde A y B son constantes. Deberíamos elegir , ya que la velocidad no puede ser infinita en el centro del tubo. Y necesitamos tomar para que el fluido esté estacionario en las paredes estacionarias. Esto nos da nuestra solución, el perfil de flujo para flujo laminar en un tubo cilíndrico:

(6)

Ahora podemos ver como el tubo transporta fluido. La velocidad puede considerarse como el flujo de volumen , o el volumen por área por tiempo transportado por el tubo. La tasa de flujo total tiene dimensiones de volumen por tiempo, es entonces el flujo de volumen de (6), integrado sobre el área transversal del tubo:

(7)

Esta ecuación es la relación de Hagen-Poiseuille para el flujo laminar en un tubo. Su aplicabilidad se extiende más allá del régimen de bajo número de Reynolds estudiado en la mayor parte de este capítulo: como se mencionó anteriormente, el fluido no se acelera en absoluto en el flujo laminar de un tubo. Por lo tanto, podemos usar esta ecuación siempre que el número de Reynolds sea inferior a mil o así. Este régimen incluye casi todas las venas y arterias más grandes del cuerpo humano (o el sistema circulatorio completo de un ratón).

La forma general de la (7) puede expresarse como , donde la resistencia hidrodinámica . La elección de la palabra "resistencia" no es casualidad. La relación de Hagen-Poiseuille indica que la tasa de transporte de alguna cantidad conservada (volumen) es proporcional a una fuerza impulsora (caída de presión), justo como la ley de Ohm dice que la tasa de transporte de carga es proporcional a una fuerza impulsora (caída de potencial). En cada caso, la constante se llama "resistencia". En el contexto del flujo de fluidos con número de Reynolds bajo, las reglas de transporte de la forma son bastante comunes y se llaman colectivamente ley de Darcy. A números de Reynolds altos, la turbulencia complica las cosas, y no se sostiene ninguna regla tan simple.