

Apuntes de Hidráulica



POLITÉCNICA

“Ingeniamos el futuro”



Propiedades de los fluidos

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Jaime García Palacios

2025

El autor agradece especialmente la colaboración de Cristian Ponce Farfán en la realización de algunos figuras y redacción de problemas de esta obra.

Otros autores que también han contribuido son:

- Cristian Ponce Farfán
- Luis Garrote de Marcos
- Luis Mediero Orduña
- Francisco Laguna Peñuelas
- Antonio Lastra de la Rubia
- Isabel Granados García
- Eduardo Martínez Marín
- Eduardo Martínez Olmos

El autor agradece las sugerencias, correcciones y contribuciones que puedan mejorar el siguiente contenido:

jaime.garcia.palacios@upm.es



Hidráulica e Hidrología: Propiedades de los fluidos
se encuentra bajo una licencia Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International

Contents

1	Propiedades de los fluidos	5
1.1	Introducción	5
1.2	Masa y densidad	5
1.3	Peso específico	6
1.4	Compresibilidad. Módulo de elasticidad volumétrico	7
1.5	Presión de vapor	8
1.6	Dilatación térmica	9
1.7	Tensión superficial	10
	Ejercicio 1	12
1.8	Viscosidad	13
	1.8.1 Movimiento laminar o turbulento	15
	Ejercicio 2	16
	Soluciones a los Ejercicios	17

Propiedades de los fluidos



1.1 Introducción

En este tema se introducen las propiedades físicas de los fenómenos influyentes en la hidráulica.

Se priorizan las referencias al agua, por ser este el elemento principal de la asignatura. Sin embargo, éste debe considerarse como un caso particular de líquido, que a su vez, es un subconjunto de los fluidos formados tanto por líquidos como por gases.

Asimismo se adjuntan una serie de vínculos a videos que permiten observar algunos de los fenómenos descritos. Estos se consideran muy ilustrativos por lo que se recomienda su visualización.

1.2 Masa y densidad

Definimos la **masa** (m) como una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. Esta suele expresarse a través de la **densidad** (ρ), que expresa la masa por unidad de volumen (V) de ese cuerpo. Es decir:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.1)$$

La unidad de masa en el sistema internacional (SI) es el kg , y de volumen el m^3 , resultando por tanto la densidad en kg/m^3 .

El valor de la densidad para el agua es de $\rho = 1000 \text{ kg}/m^3$.

Este valor sufre pequeños cambios con la presión y temperatura pero puede considerarse despreciable para muchos de los problemas que planteamos en la hidráulica. Sí debe tenerse en cuenta su variación en el caso de encontrarse materia en disolución en su interior. Por ejemplo, el agua del mar, donde este valor puede llegar a $\rho = 1030 \text{ kg}/m^3$, lo que influye en los problemas de flotación.

Recuperando la definición de la densidad dada en la ecuación (1.1), y despejando la masa:

$$M = \rho V \quad (1.2)$$

Diferenciando:

$$dM = \rho dV + V d\rho \quad (1.3)$$

Dividiendo por la masa:

$$\frac{dM}{M} = \frac{\rho dV}{\rho V} + \frac{V d\rho}{V\rho} \quad \rightarrow \quad \frac{dM}{M} = \frac{dV}{V} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1.4)$$

Teniendo en cuenta la **conservación de la masa** ($\frac{dM}{M} = 0$), se cumple que la variación relativa de volumen coincide con la variación relativa de densidad. El signo contrario indica que un aumento de volumen se corresponde con una disminución de la densidad.

$$\frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho} \quad (1.5)$$

Se define **densidad relativa** (ρ') de un cuerpo como la densidad de dicho cuerpo (ρ_s) respecto de la del agua (ρ). Esta magnitud es adimensional:

$$\rho' = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (1.6)$$

El comportamiento normal en fluidos es que a menor temperatura mayor densidad. Sin embargo, un comportamiento anómalo que tiene el agua es que la densidad máxima se produce para una temperatura cercana a los $4^\circ C$. Este fenómeno es muy importante en la naturaleza ya que permite que el hielo flote sobre el agua. De esta forma los ríos helados siguen fluyendo por debajo de la capa superior de hielo. Los físicos utilizan la temperatura de $4^\circ C$ para definir las propiedades del agua, mientras que en ingeniería suele utilizarse los $15^\circ C$, valor más cercano a la temperatura media a la que se suele encontrar el agua.

1.3 Peso específico

El **peso específico** (γ) se define como la fuerza con que es atraída la masa por unidad de volumen por la gravedad (g):

$$\gamma = \rho g \quad (1.7)$$

Por tanto sus unidades serán $\frac{kg}{m^3} \frac{m}{s^2} = \frac{N}{m^3}$. Si consideramos el valor de la gravedad terrestre $g = 9.81 m/s^2$, el valor para el agua del peso específico es $\gamma = 9810 N/m^3$

Igualmente, se define el peso específico relativo de un cuerpo (γ') respecto del agua como:

$$\gamma' = \frac{\gamma_s}{\gamma} = \frac{\rho_s}{\rho} = \rho' \quad (1.8)$$

siendo γ_s el peso específico del cuerpo considerado.

Nota

Es importante tener en cuenta la dependencia de γ de la gravedad. Ello implica que en la luna, como la cantidad de masa es la misma, la densidad no varía con respecto a la de la tierra (despreciando los cambios de volumen debidos a la variación de presión y temperatura), pero sí lo hace el peso específico

1.4 Compresibilidad. Módulo de elasticidad volumétrico

El **módulo de elasticidad volumétrico** (E_a) expresa la relación existente entre el incremento de presión (ΔP) aplicado a un volumen sólido y su reducción relativa de volumen (ΔV_r):

$$E_a = -\frac{\Delta P}{\Delta V_r} \quad (1.9)$$

Si expresamos el incremento de presión como la variación de la fuerza (F) aplicada por unidad de área (A) y el incremento relativo de volumen lo referimos al volumen inicial (V), se tiene:

$$E_a = -\frac{\frac{\Delta F}{A}}{\frac{\Delta V}{V}} = -\frac{\Delta F V}{\Delta V A} \quad (1.10)$$

siendo ΔV la variación total de volumen. El signo menos se utiliza para mantener positivo el valor de E_a cuando consideramos positivo el valor de la fuerza de compresión y negativa la reducción de volumen.

A nivel diferencial, se tiene:

$$E_a = -dP \frac{V}{dV} \quad (1.11)$$

Observamos que este concepto está directamente asociado con la presión aplicada sobre el volumen, es decir, con la compresibilidad del mismo.

A diferencia del módulo de Young, el módulo de elasticidad volumétrico puede aplicarse a fluidos, tanto líquidos como gases.

Su valor en el agua es de 2200 MPa. Referido a otros materiales, se puede decir que:

$$E_a \approx \frac{E_{acero}}{100} \approx \frac{E_{hormigon}}{10} \quad (1.12)$$

Esto implica que en muchos problemas el agua sea considerado como un fluido incompresible. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en otros problemas no puede realizarse esta simplificación, como es el caso del golpe de ariete.

Sustituyendo la ecuación (1.5) en (1.11), se tiene:

$$E_a = dP \frac{\rho}{d\rho} \quad (1.13)$$

Por tanto, conocida la presión en dos puntos 1 y 2 del fluido y su módulo de elasticidad volumétrico, se puede determinar la variación de densidad mediante:

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = \int_{\rho_1}^{\rho_2} E_a \frac{d\rho}{\rho} \quad \rightarrow \quad P_2 - P_1 = E_a \ln \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (1.14)$$

Esta expresión será únicamente válida cuando pueda considerarse $E_a = cte$.

1.5 Presión de vapor

En una superficie libre existe un intercambio continuo de moléculas entre el líquido y el gas. Se denomina **presión de saturación** a la presión de equilibrio entre el líquido y el gas con el que se relaciona en su superficie libre.

Al aumentar la temperatura (T), aumenta la actividad molecular. Si se reduce la presión en la superficie del líquido por debajo de la presión de saturación, éste intercambia moléculas hacia el vapor (las moléculas en estado líquido pasan a estado gaseoso). Este fenómeno puede producirse bien por:

- **Ebullición:** Aumento de la temperatura.
- **Cavitación:** Por disminución de la presión.

Existe una presión llamada **presión de vapor** por debajo de la cual se produce la cavitación.

El valor de esta presión en el agua a $20^\circ C$ es:

$$P_{cv} = 2,34 \text{ KPa} \quad (1.15)$$

La presión de saturación en el agua hirviendo ($100^\circ C$) equivale a:

$$P_{atm} = 101,33 \text{ KPa} \quad (1.16)$$

La tabla 1.1 refleja algunos valores de la presión de vapor en función de la temperatura a la presión de una atmósfera:

T (°C)	P _v (kPa)	T (°C)	P _v (kPa)
0	0,611	50	12,35
4	0,814	60	19,95
10	1,228	70	31,20
20	2,339	80	47,41
30	4,247	90	70,18
40	7,385	100	101,33

Tabla 1.1: Presión de vapor de agua en función de la temperatura a la presión de 1 atm

El fenómeno de la cavitación en un conducto es altamente perjudicial porque se forman burbujas de aire que rompen la continuidad del fluido produciendo:

- **Pulsación:** Vibración debida a la vaporización y condensación de las moléculas de agua-aire. Ello introduce un esfuerzo mecánico que puede dañar la conducción.
- **Corrosión:** Se libera oxígeno, lo que afecta a la corrosión de las tuberías metálicas.
- **Pérdida de sección efectiva:** Al haber aire hay una menor circulación de agua (caudal), lo que afecta a la pérdida de rendimiento de las maquinas hidráulicas.



Este fenómeno puede producirse a temperatura ambiente, como puede verse en la foto adjunta, debido a un estrangulamiento en una sección de tubería.

Por ejemplo, el mercurio tiene una presión de vapor de $P_{vHg} = 0.17 Pa$ lo que lo hace muy adecuado para su utilización en barómetros. Eso implica que la parte superior del tubo invertido del mercurio se encuentra con ese valor de la presión (P_{vHg}), que podemos considerar casi despreciable frente a la presión atmosférica.

1.6 Dilatación térmica

La **dilatación térmica** expresa la variación en la unidad de volumen cuando se le somete a una variación de temperatura. Se define a través del coeficiente de dilatación térmica (α) como:

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta T} = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} = -\frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\Delta T} \quad (1.17)$$

Obsérvese que puede expresarse como la variación relativa de densidad al variar la temperatura.

Este coeficiente tiene dimensiones de $\frac{1}{^\circ K}$ y su valor en el agua es:

$$\alpha = 2.1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ K^{-1} \quad (1.18)$$

Debe tenerse en cuenta que en la variación de la densidad influyen presión y temperatura, ya que:

$$d\rho = \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_{P=cte} dT + \left. \frac{\partial \rho}{\partial P} \right|_{T=cte} dP \quad (1.19)$$

a $P = cte$ se tiene:

$$\alpha = -\frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_{P=cte} \quad (1.20)$$

En un gas ideal, donde $\rho = \frac{P}{RT}$ se llega a:

$$\alpha = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{P}{RT} \right) = \frac{1}{T} \quad (1.21)$$

La dilatación térmica es la responsable de la estratificación de los fluidos

1.7 Tensión superficial

Se denomina **tensión superficial** de un líquido a la energía necesaria para aumentar su superficie una unidad de área.

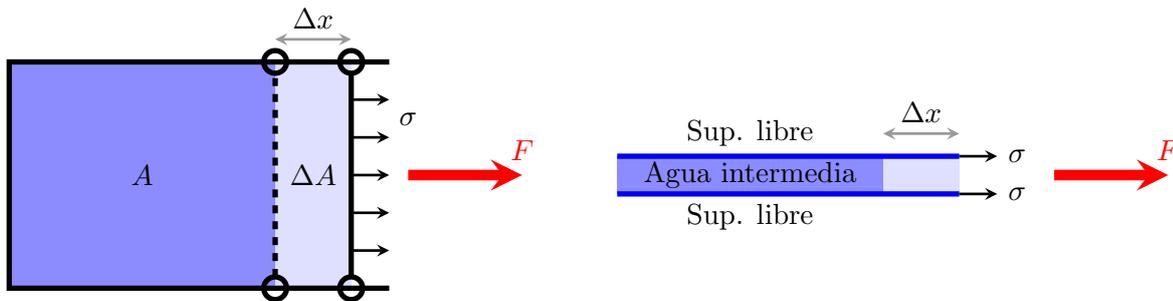


Figura 1.1: Medida de la tensión superficial

Para medirla supongamos el dispositivo de la figura 1.1 en el que en el área A tenemos un líquido cuyo contorno esta rodeado por alambres. El alambre de la derecha puede moverse en la dirección de la fuerza aplicada. Por ejemplo, cuando aplicamos una fuerza F , se produce un desplazamiento Δx .

Nota

En este dispositivo existen dos superficies libres. Si atravesamos el área A en una dirección perpendicular a la misma, primero atravesaremos la primera superficie, pasando a la zona intermedia donde se encuentra el fluido, y luego saldremos del interior nuevamente al exterior atravesando la segunda superficie libre. Lo mismo ocurre en las pompas de jabón con aire en el interior. La membrana de la pompa está formada por 2 superficies libres

El trabajo (τ) realizado para aumentar la superficie en ΔA viene dado por:

$$\tau = \frac{1}{2} F \Delta x \tag{1.22}$$

donde el $1/2$ viene dado porque estamos considerando 2 superficies, una superior y otra inferior.

Utilizando la definición dada para la tensión superficial, se tiene:

$$\sigma = \frac{\tau}{\Delta A} = \frac{F \Delta x}{2 \Delta A} = \frac{F}{2L} \tag{1.23}$$

Físicamente se podría haber interpretado σ como una tensión aplicado a lo largo de la longitud L equivalente a la fuerza $F/2$ aplicada a cada una de las superficies.

$$\sigma = \frac{F}{2L} \tag{1.24}$$

Las unidades serán por tanto de fuerza partido por distancia (N/m)

El valor de la tensión superficial en el agua a $15^{\circ}C$ es:

$$\sigma = 0,0735 N/m \quad (1.25)$$

La interpretación física de este fenómeno es que una partícula de líquido que se encuentra sumergida en el interior del mismo se encuentra atraída igualmente por todas las partículas que le rodean. Sin embargo, una partícula de la superficie libre se encuentra en equilibrio en la dirección horizontal, pero no así en la vertical, donde la partícula de gas que esta por encima atrae menos a la partícula líquida situada en la superficie que la del líquido que esta debajo. Esto hace que todas las partículas de la superficie se vean atraídas hacia abajo.

En el vínculo siguiente puede verse un vídeo ilustrativo de este fenómeno, así como de la actuación de la presión atmosférica:

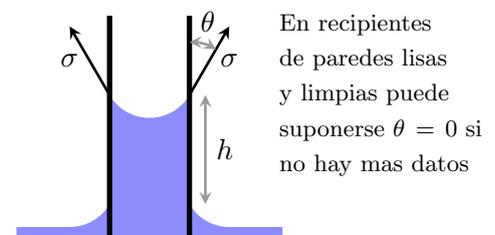


Surface tension

En los bordes del recipiente que contiene un fluido, si la densidad del fluido es menor que la del recipiente, como ocurre por ejemplo entre el agua y el vidrio, el vidrio atrae con mas fuerza a la partícula de agua que el gas atmosférico, haciendo que en los contornos del recipiente, la superficie libre se curve hacia arriba. Este fenómeno denominado **ascensión capilar** tiene gran importancia en la naturaleza porque es lo que permite que el agua ascienda por los capilares de las plantas y árboles llevando el agua y otras sustancias hasta las hojas.

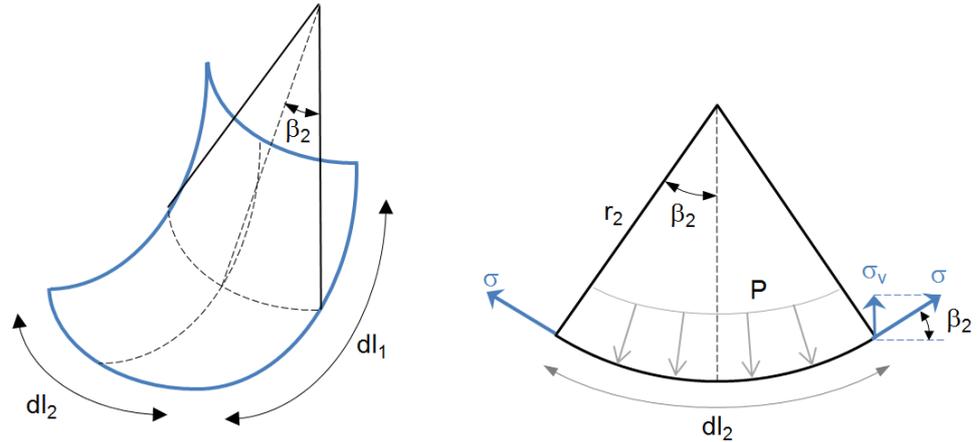
En el caso de que el líquido posea una mayor densidad que el recipiente que lo contiene, como es el caso del mercurio contenido en un recipiente de vidrio, la masa de mercurio interior ejerce una mayor atracción que las paredes de vidrio. Ello provoca que la curvatura en el contorno del recipiente sea hacia abajo. Se produce lo que se denomina **descenso capilar**.

La ascensión capilar puede estudiarse mediante la **Ley de Jurín** que plantea el equilibrio de fuerzas verticales debidas a la componente vertical de la tensión superficial actuando en el contacto del líquido y el recipiente que lo contiene, y el peso de fluido elevado.



$$2\sigma \cos \theta$$

La **fórmula de Laplace** aplicada a la tensión superficial establece una relación entre la tensión superficial y la presión aplicada sobre una superficie líquida diferencial.



$$\Delta P dl_1 dl_2 = 2\sigma (dl_2 \text{ sen } \beta_1 + dl_1 \text{ sen } \beta_2) \quad \rightarrow \quad \Delta P = \frac{\sigma (r_1 + r_2)}{r_1 r_2} = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.27)$$

siendo:

$$\begin{aligned} dl_1 &= 2\beta_1 r_1 ; & \text{sen } \beta_1 &\simeq \beta_1 \\ dl_2 &= 2\beta_2 r_2 ; & \text{sen } \beta_2 &\simeq \beta_2 \end{aligned}$$

En la siguiente dirección web puede verse como un clip se mantiene flotando en agua debido a la tensión superficial. Hay que tener en cuenta que la densidad del clip es mayor que la del agua. De hecho si lo sumergimos en el líquido en vez de colocarlo con cuidado en la superficie, el clip se hundirá.

<http://www.fotolog.com/quimifobia/12326766>

Otro ejemplo es la capacidad del zapatero para andar sobre el agua:

Imagen del zapatero

Si el fluido tiene una elevada tensión superficial podríamos llegar a caminar sobre él como muestra este vídeo de El Hormiguero.



Corriendo sobre un fluido

EJERCICIO 1

Test.

1. Calcular la presión atmosférica en Pascales (con 2 decimales) de un barómetro de mercurio que registra una altura de $h_{Hg} = 760 \text{ mm}$. Considere la densidad del mercurio $13.6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ y un valor de la gravedad de 9.81 m/s^2 *Pa*
2. Calcular la presión atmosférica en *Pa* de la pregunta anterior cuando se considera que la presión de cavitación del mercurio es $P_{v_{Hg}} = 0.17 \text{ Pa}$ *Pa*

3. Determine el error relativo, con al menos 3 cifras significativas, entre ambas medidas como:

$$\frac{|P_1 - P_2|}{\frac{P_1 + P_2}{2}}$$
4. Determine el descenso capilar del mercurio teniendo en cuenta que el ángulo con la pared es $\theta = 140^\circ$, el tubo es de 3 mm de diámetro y la tensión superficial del mercurio a $20^\circ C$ es $\sigma_{Hg} = 0.375 \text{ N/m}$.
5. Determine el nuevo error en la medida de la presión debido al descenso capilar:

Pulsar sobre la palabra [ejercicio 1](#) al comienzo para ver la solución

1.8 Viscosidad

Los fluidos, a excepción del ideal, presentan una cierta resistencia a la deformación como consecuencia de las acciones intermoleculares que se establecen entre sus partículas. Esta resistencia depende de la velocidad de deformación relativa entre dos líneas de corriente adyacentes dv separadas una distancia dy .

El conocimiento preciso de este comportamiento es fundamental a la hora de estudiar algunos de los fenómenos asociados al movimiento del agua, como la separación entre el régimen laminar y turbulento.

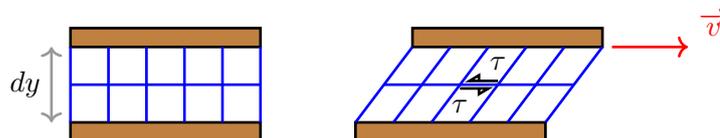


Figura 1.2: Deformación de una partícula de agua debido a las tensiones tangenciales

Se denomina **fluido newtoniano** al fluido que tiene una relación lineal entre la velocidad de deformación y la tensión tangencial dada por:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{1.28}$$

siendo:

- τ Tensión tangencial o de corte entre las partículas (N/m²)
- μ Viscosidad dinámica del fluido (N · s/m² ó Pa · s)
- du Diferencial de velocidad entre líneas de corriente adyacentes (m/s)
- dy Diferencial de distancia entre líneas de corriente adyacentes (m)

También suele utilizarse el valor de la viscosidad cinemática definida como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \tag{1.29}$$

siendo:

ν	Viscosidad cinemática del fluido	(m^2/s)
ρ	Densidad del fluido	(kg/m^3)

Los valores en el agua son $\mu = 10^{-3} Pa \cdot s$ para la viscosidad dinámica y $\nu = 10^{-6} m^2/s$ para la viscosidad cinemática.

Un **fluido ideal** es aquel que no tiene interacción entre las partículas cuando hay movimiento. Se corresponde con el eje horizontal de la figura 1.3. El vídeo siguiente extraído del documental de la BBC 'Absolute Zero', muestra el comportamiento de uno de estos fluidos:



Superfluid helium

El **sólido rígido** tiene deformación por la actuación de una fuerza, aunque no haya velocidad de deformación, por lo que representa el eje vertical de la figura 1.3.

Otros tipos de comportamiento pueden verse en la misma figura 1.3.

Nota

En un sólido rígido elástico la deformación se produce mientras se mantiene la fuerza actuante. En el caso de un fluido, para existir la fuerza tangencial debe haber diferencia de velocidad relativa entre las partículas adyacentes. No basta solo con que haya movimiento

El término reología ($\rho\epsilon\sigma$) (rheos=corriente) fue establecido por Bingham en 1929 para expresar el comportamiento entre las velocidades de deformación y las tensiones tangenciales. La figura 1.3 muestra el comportamiento de distintos fluidos en un diagrama reológico.

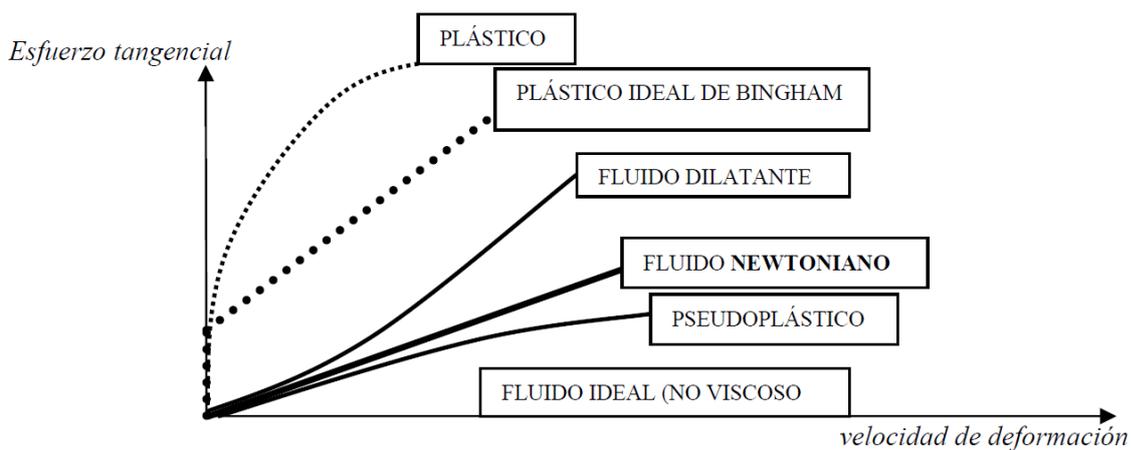


Figura 1.3: Diagrama reológico del comportamiento de los fluidos

En el comportamiento **plástico**, para valores pequeños de la fuerza tangencial, el fluido se comporta

como un sólido rígido, es decir se deforma manteniendo la misma posición relativa con las partículas adyacentes y es capaz de volver a su situación inicial una vez que la carga tangencial deja de existir. Para valores mayores de τ se rompen parte de los vínculos con las partículas adyacentes y tras la descarga estos vínculos no se recuperan.

El comportamiento **pseudoplástico** es aquel en el que ha medida que aumenta la tensión tangencial las fuerzas entre líneas de corriente adyacentes disminuye, haciéndose cada vez los vínculos mas débiles. El comportamiento contrario es el de **fluido dilatante**.

Estos modelos de comportamiento no lineal pueden expresarse como

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (1.30)$$

donde $n > 1$ en fluidos dilatantes, es decir, que espesan con el esfuerzo, y $n < 1$ en fluidos pseudoplásticos que fluyen con mayor facilidad al aplicar un esfuerzo.

En los gases la viscosidad aumenta con la temperatura. Esto tiene su explicación en la teoría cinética de los gases.

En los líquidos, la viscosidad decrece con la temperatura. Ello se explica porque las fuerzas de atracción entre las moléculas, que son responsables directas de los fenómenos viscosos, disminuyen con la temperatura.

La viscosidad aumenta ligeramente al incrementar la presión.

En función de la variación de la viscosidad con el tiempo se puede realizar la siguiente clasificación:

- **Tixotrópicos:** la viscosidad se relaja con el tiempo.
- **Reopécticos:** la viscosidad aumenta con el tiempo.

1.8.1 Movimiento laminar o turbulento

La viscosidad es la principal responsable de que un fluido pueda adoptar un comportamiento laminar o turbulento.

En un régimen laminar las partículas se mueven a lo largo de líneas de corriente cuasi paralelas entre sí. Este movimiento es suave y ordenado. Este comportamiento no suele darse en fluidos y solo se verifica para velocidades muy bajas de circulación.

El régimen turbulento es el habitual en los fluidos y las partículas se mueven de forma caótica, desordenada, donde las trayectorias forman pequeños remolinos. Esto hace que las trayectorias sean impredecibles pasado un corto umbral de tiempo.

La separación entre ambos regímenes fue definida por Reynolds mediante el **Número de Reynolds** dado por:

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (1.31)$$

siendo:

R_e	Número de Reynolds	(-)
v	Velocidad media de circulación del fluido	(m/s)
D	Diámetro de la tubería	(m)
ν	Viscosidad cinemática del fluido	(m ² /s)

La separación se da para valores aproximados de $R_e = 2300$ aunque es muy dependiente de la geometría del sistema, del ruido y de las imperfecciones que puedan existir. Valores inferiores a este umbral indican flujo laminar y superiores, turbulento.

El siguiente video, un tanto antiguo, es muy didáctico para aprender la diferencia entre un flujo laminar y turbulento, además de explicar distintos comportamientos de la velocidad en el interior de un conducto a presión:



[Characteristics of Laminar and Turbulent Flow](#)

El experimento de Reynolds realizado en laboratorio y en español, se muestra en el video siguiente



[Experimento de Reynolds](#)

EJERCICIO 2

Entre dos superficies planas fijas separadas 2.0 cm hay un líquido de peso específico relativo 0.8. Se pide:

Test.

1. La viscosidad dinámica si la fuerza requerida para remolcar una lámina de espesor despreciable situada en el medio y área 0.4 m² a una velocidad de 0.2 m/s es de 0.7 N. $Pa \cdot s$
2. La viscosidad cinemática. m^2/s
3. Manteniendo la viscosidad, calcular la fuerza requerida para remolcar la lámina a esa misma velocidad cuando se encuentra a 0.007 m de una de las superficies. N

Pulsar sobre la palabra [ejercicio 2](#) al comienzo para ver la solución

Soluciones a los Ejercicios

EJERCICIO 1

La altura de 760 mm equivale a una presión de:

$$P_1 = \gamma_{Hg} h_{Hg} = \rho_{Hg} g h_{Hg} = 13600 \cdot 9.81 \cdot 0.760 = 101396.16 \text{ Pa}$$

Cuando se considera el valor de la presión de cavitación se está disminuyendo el valor de la presión atmosférica medida en el barómetro en ese valor, por ser esta la presión que se obtendrá en el extremo alto del barómetro.

$$P_2 = \gamma_{Hg} h_{Hg} + P_{v_{Hg}} = 101396.16 + 0.17 = 101396.33 \text{ Pa}$$

El error absoluto cometido en la primera medida es igual a $\varepsilon = P_{v_{Hg}} = 0.17 \text{ Pa}$, mientras que el error relativo se puede calcular como:

$$\varepsilon_r = \frac{|P_2 - P_1|}{\frac{P_1 + P_2}{2}} = \frac{0.17}{\frac{101396.16 + 101396.33}{2}} = 1.6766 \cdot 10^{-6}$$

lo que puede considerarse claramente despreciable.

Utilizando la Ley de Jurin deducida en la ecuación (1.26) y sustituyendo los valores del problema se obtiene:

$$h = \frac{2\sigma_{Hg} \cos \theta}{\gamma_{Hg} R} = \frac{2 \cdot 0.375 \cos 140}{13600 \cdot 9.81 \frac{0.003}{2}} = -0.0029 \text{ m}$$

El error absoluto se corresponde con la presión equivalente a ese descenso capilar:

$$\varepsilon_2 = h\gamma_{Hg} = -0.029 \cdot 13600 \cdot 9.81 = -383.0222 \text{ Pa}$$

$$P_3 = P_2 - \varepsilon_2 = 101396.33 - 383.022 = 101013.3078 \text{ Pa}$$

En este caso el error relativo equivale a:

$$\varepsilon_r = \frac{|P_2 - P_3|}{\frac{P_2 + P_3}{2}} = \frac{383.0222}{\frac{101396.33 + 101013.3078}{2}} = 3.7846 \cdot 10^{-3}$$

error claramente mayor que el anterior.



EJERCICIO 2

TIViA0.4 La fuerza total (F_T) es la suma de la fuerza ejercida sobre ambas superficies ($F_1 + F_2$). Si ambas están a igual distancia de los bordes serán iguales ($F_1 = F_2 = \frac{F_T}{2}$)

Utilizando la ecuación (1.28) se tiene:

$$\tau = \mu \frac{v}{y} = \frac{F}{A} \quad \rightarrow \quad \mu = \frac{F_T y}{2A v} = \frac{0.7 \cdot \frac{2.0}{2}}{2 \cdot 0.4 \cdot 0.7} = 0.04375 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

La viscosidad cinemática se relaciona con la dinámica mediante la ecuación (1.29)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.04375}{0.8 \cdot 1000} = 0.0546875 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Cuando estamos a $y_1 = 13 \text{ mm}$ y $y_2 = 7 \text{ mm}$ de cada una de las caras. la fuerza será:

$$F_t = F_1 + F_2 = \mu A v \left(\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right) = 0.04375 \cdot 0.4 \cdot 0.2 \left(\frac{1}{0.007} + \frac{1}{0.013} \right) = 0.7692 \text{ N}$$

