

# Propiedades termodisícas de los fluidos

## Unidades de medida

- Para sistemas mecánicos, las unidades de todas las cantidades físicas pueden ser expresadas en términos de cuatro unidades básicas: longitud ( $L$ ), tiempo ( $T$ ), masa ( $M$ ) y temperatura ( $\Theta$ ).
- En el sistema internacional de unidades (SI) estas unidades básicas son el metro ( $m$ ), el segundo ( $s$ ), el kilogramo ( $kg$ ) y el Kelvin ( $K$ ), respectivamente.

Table 1.2 Derived Units

Quantity	Dimensions	SI units
Area $A$	$L^2$	$m^2$
Volume $V$	$L^3$	$m^3$
Velocity $V$	$L/T$	$m/s$
Acceleration $a$	$L/T^2$	$m/s^2$
Angular velocity $\omega$	$T^{-1}$	$rad/s$
Force $F$	$ML/T^2$	$kg \cdot m/s^2$ N (newton)
► Density $\rho$	$M/L^3$	$kg/m^3$
► Specific weight $\gamma$	$M/L^2 T^2$	$N/m^3$
Frequency $f$	$T^{-1}$	$s^{-1}$
Pressure $p$	$M/LT^2$	$N/m^2$ Pa (pascal)
Stress $\tau$	$M/LT^2$	$N/m^2$ Pa (pascal)
► Surface tension $\sigma$	$M/T^2$	$N/m$
Work $W$	$ML^2/T^2$	$N \cdot m$ J (joule)
Energy $E$	$ML^2/T^2$	$N \cdot m$ J (joule)
Heat rate $\dot{Q}$	$ML^2/T^3$	$J/s$
Torque $T$	$ML^2/T^2$	$N \cdot m$
Power $P$	$ML^2/T^3$	$J/s$
$\dot{W}$		$W$ (watt)
► Viscosity $\mu$	$M/LT$	$N \cdot s/m^2$
Mass flux $\dot{m}$	$M/T$	$kg/s$
Flow rate $Q$	$L^3/T$	$m^3/s$
► Specific heat $c$	$L^2/T^2 \Theta$	$J/kg \cdot K$
Conductivity $K$	$ML/T^3 \Theta$	$W/m \cdot K$

Estas son  
propiedades  
de los fluidos.

## Descripción de un flujo

Las variables que necesitamos para describir un flujo son

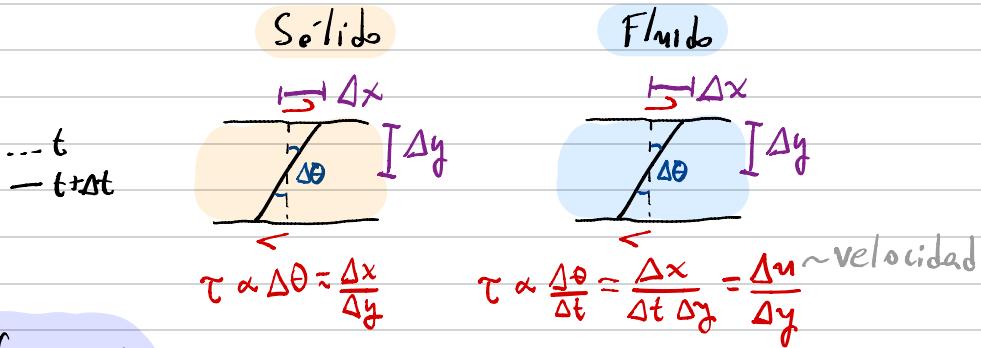
- **Velocidad  $\vec{V}$** : Indica la magnitud y dirección del movimiento del fluido en cada punto del espacio. Es la variable más importante y usualmente lo que buscamos determinar.
- **Presión  $p$** : Es el esfuerzo de compresión (o tensión) que siente el fluido en cada punto del espacio debido a la transferencia de momentum generada por las vibraciones a nivel molecular (microscópico).
- **Temperatura  $T$** : Es una medida de la energía cinética vibracional a nivel molecular (microscópico).
- **Densidad  $\rho$** : Es la masa por unidad de volumen. En ocasiones usamos el peso específico  $\gamma = \rho g$ .

En otros escenarios también podríamos necesitar conocer la energía interna, entropía, campo magnético/eléctrico y otras variables.

Por otro lado, los efectos de fricción y conducción de calor están gobernados por la viscosidad  $\mu$  y la conductividad térmica  $k$ .

## Viscosidad y reología

- La respuesta a un esfuerzo de corte de un sólido es fundamentalmente diferente a la de un fluido.



Esfuerzo es proporcional a:

Deformación

Tasa de deformación

constante de proporcionalidad

Ley de viscosidad de Newton  
( $\lim \Delta \rightarrow 0$ )

$$\tau \propto \frac{\partial u}{\partial y} \Rightarrow \tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

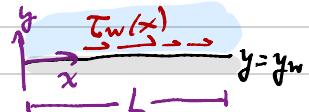
• Viscosidad dinámica  $\mu [ML^{-1}T^{-1}]$  • Viscosidad cinemática  $\nu [L^2T^{-1}]$

$$\nu = \mu / \rho, \text{ donde } \rho [ML^{-3}] \text{ es la densidad.}$$

⇒ ¡Necesitamos conocer la distribución espacial de velocidad en el fluido para calcular fuerzas!

Esfuerzo de corte aplicado a una superficie: componente tangencial de fuerzas espacialmente distribuidas aplicadas a la superficie.

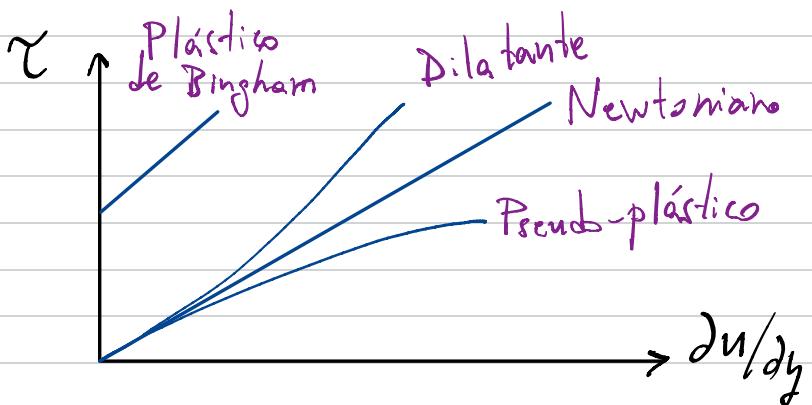
$$\text{Ejemplo: } F_D = \int_0^L \tau_w(x) dx = \int_0^L \mu \frac{\partial u}{\partial y}(x, y_w) dx$$



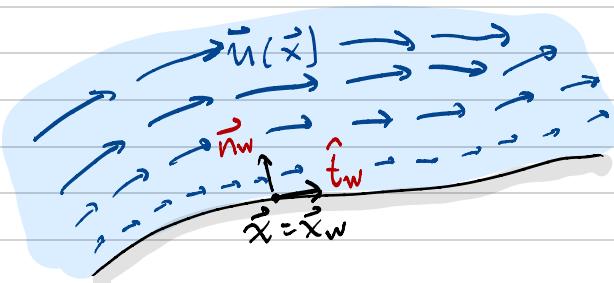
- Existen fluidos con comportamiento distinto al descrito por la ley de viscosidad de Newton.
- Estos son conocidos como **fluidos no Newtonianos**
- Una expresión más general relacionando los esfuerzos de corte con la tasa de deformación es

$$\tau = \tau_0 + \mu \left( \frac{du}{dy} \right)^n, \text{ para } \tau > \tau_0.$$

- Este modelo considera dos parámetros,  $\tau_0$  y  $n$ .
- Podemos clasificar estos fluidos en
  - Newtoniano :  $\mu = \text{cte}$  ( $\tau_0 = 0, n = 1$ )
  - Plástico de Bingham : umbral para que comience a fluir ( $\tau_0 \neq 0$ )
  - Dilatante (shear thickening) :  $\mu \uparrow$  cuando  $\frac{du}{dy} \uparrow$  ( $n > 1$ )
  - Pseudoplástico (shear thinning) :  $\mu \downarrow$  cuando  $\frac{du}{dy} \uparrow$  ( $n < 1$ )



- Para fluidos en reposo no hay movimiento relativo entre distintas capas ( $du/dy = 0 \Rightarrow \tau = 0$ ) y, por lo tanto, la viscosidad no influye.
- Para un fluido en movimiento el asunto se pone mucho más interesante y la viscosidad juega un rol fundamental.
- Debido a la viscosidad, un fluido en movimiento se "pega" a las superficies sólidas con las que entra en contacto, provocando gradientes de velocidad y, por consecuencia, esfuerzos de corte.
- Esto se traduce en la condición de borde de no deslizamiento  $\vec{u}(\vec{x}_W) \cdot \vec{t}_W = 0$ .
- Además en una pared sin porosidad se cumple la condición de no penetración  $\vec{u}(\vec{x}_W) \cdot \vec{n}_W = 0$ .
- Uniendo ambas condiciones tenemos que  $\vec{u}(\vec{x}_W) = \vec{0}$ , conocida como no slip / no penetration boundary condition.



## Gases ideales y compresibilidad

- La presión, densidad y temperatura en un fluido se pueden relacionar mediante una ecuación de estado de la forma  $p = f(\rho, T)$ .
- Estas relaciones pueden ser complejas y dependen de cada sustancia.
- Todos los gases a  $T$  altas y  $p$  bajas (relativas a su punto crítico) se pueden aproximar como ideales.

Ecuación de estado de gas ideal  $p = \rho RT$ , - cte. de gas ideal

donde  $R = C_p - C_v = R_0$  - cte. universal de los gases  $R_0 = 8314 \text{ kJ/kmol K}$   
 $M$  - masa molar  $M = 28.97 \text{ kg/kmol}$  para el aire.

En general los valores de  $M$  y  $R$  se encuentran tabulados en función de  $p$  y  $T$  para gases comunes.

- En un fluido comprimible, se propagan ondas de presión (ondas acústicas) a una velocidad  $c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}}_s$  - proceso isentrópico
- Es razonable aproximar un fluido como incompresible cuando el número de Mach  $M \ll 1$  ( $M < 0.2$  basta en la práctica)

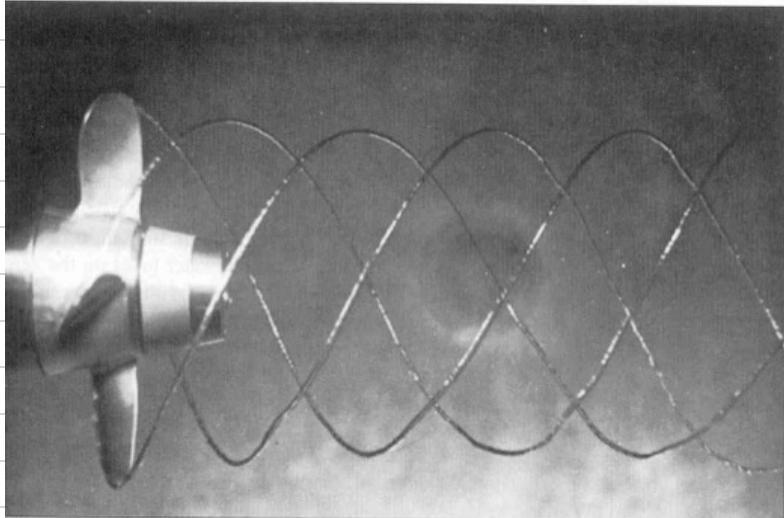
$$M = \frac{u}{c} \quad \text{velocidad del fluido}$$

$c$  - velocidad local del sonido en el medio

- En un fluido incompresible  $c = \infty$ .

## Presión de vapor y cavitación

- Para una temperatura dada, la presión de vapor de un fluido es aquella que producirá vaporización (cambio de fase de líquido a gas).
- En un fluido en movimiento, grandes aceleraciones pueden generar presiones lo suficientemente bajas para alcanzar la presión de vapor, generando burbujas de vapor.
- Cuando estas burbujas se mueven a zonas de presión más altas, estas colapsan de manera violenta. Este fenómeno es conocido como cavitación.
- La cavitación genera una serie de problemas en aplicaciones de ingeniería, como erosión y vibraciones no deseadas.



## Tensión superficial

- Cuando dos fluidos que no se mezclan se encuentran en contacto, la interfaz que los separa se comporta como si fuera una membrana estirada bajo tensión, como la superficie de un globo o de una burbuja de jabón.
- Esto ocurre debido a un desbalance en las fuerzas intermoleculares atractivas y la magnitud de la fuerza por unidad de línea que tensa la interfaz es la llamada tensión superficial  $\sigma$  ( $N/m$  en SI).
- El valor de  $\sigma$  depende de ambos fluidos en contacto y las condiciones ambientales.
- Una consecuencia importante es que  $\sigma$  causa diferencia de presiones a través de superficies curvadas.
- Para una superficie deformada estéricamente el salto de presión entre ambos fluidos es

$$2\pi R \sigma = \pi R^2 (p_i - p_o) \Rightarrow p_i - p_o = \frac{2\sigma}{R}$$

