

# Mecánica de Fluidos I

## SEMANA 3

Henry R. Moncada

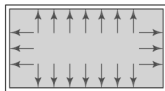
Universidad Nacional del Callao  
Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

14 de abril de 2025

# Contenido

- 1 Presión
- 2 Propiedades del Flujo y del Fluido
- 3 Parámetros Adimensionales
- 4 Medición de Rapidez de Flujo
- 5 Métodos de Conversión ASTM 2161

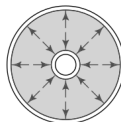
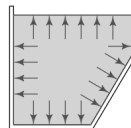
# Presión



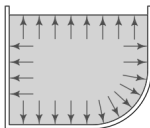
(a) Ducto de un horno



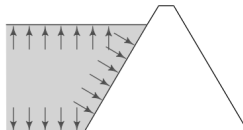
(b) Tubo o tubería

(c) Intercambiador de calor  
(un tubo dentro de otro tubo)

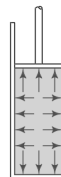
(d) Depósito



(e) Piscina



(f) Presa

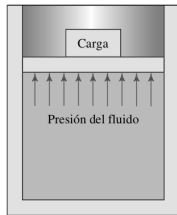


(g) Cilindro de transmisión hidráulica

Dirección de la presión del fluido sobre las fronteras.

## Ejemplos

Calcule la magnitud de la presión ejercida sobre el líquido debajo del pistón si el peso total del pistón y la carga es de  $500\text{ N}$  y el área del pistón mide  $2500\text{ mm}^2$ .



presión de un fluido que soporta una carga

$$p = \frac{F}{A}$$

**Solución:**

La segunda ley de Pascal establece que la presión del fluido actúa en forma perpendicular al pistón.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{500\text{ N}}{2500\text{ mm}^2} = 0,20\text{ N/mm}^2$$

La conversión puede hacerse empleando el factor de  $10^3\text{ mm} = 1\text{ m}$ .

$$p = \frac{0,20\text{ N}}{\text{mm}^2} \frac{(10^3\text{ mm})^2}{\text{m}^2} = 0,20 \times 10^6\text{ N/m}^2 = 0,20\text{ MPa}$$

### Ejercicio:

Se ejerce una carga de 200 libras (lb) sobre un pistón que confina aceite en un cilindro con diámetro interior de 2,50 pulgadas (in). Calcule la presión ejercida en el aceite que está en contacto con el pistón  $A = \frac{\pi D^2}{4}$

# Compresibilidad

La compresibilidad se refiere al cambio en el volumen (**V**) de una sustancia sometida a un cambio en la presión que se ejerce sobre ella.

**Módulo volumétrico (E)**

$$E = \frac{-\Delta p}{(\Delta V)/V}$$

Debido a que las cantidades  $\Delta V$  y  $V$  tienen las mismas unidades **módulo de elasticidad volumétrica, o módulo volumétrico**  $E$ , las unidades para  $E$  son las mismas que las empleadas para la presión.

**Ejemplo:**

Calcule el cambio en la presión que se debe aplicar al agua para cambiar su volumen en 1.0 por ciento. El cambio de volumen en 1,0 por ciento

**Solución:**

El cambio de volumen en 1,0 por ciento indica que  $\Delta V/V = -0,01$ . El cambio requerido en la presión es

$$p = -E \left[ \frac{\Delta V}{V} \right] = [-316000 \text{ psi}] [-0,01] = 3160 \text{ psi}$$

# Densidad, Peso Específico

- **Densidad**

La **densidad** es la cantidad de masa presente por cada unidad de volumen de una sustancia, usando la letra griega  $\rho$  (rho) para identificar la densidad

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- **Peso específica**

El **peso específico** es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia, letra griega  $\gamma$  (gama) para identificar el peso específica,

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

donde  $V$  representa el volumen de una sustancia que tiene el peso  $w$ .

## Gravedad Específica

### ■ Gravedad específica

Cuando se usa el término gravedad específica, el fluido de referencia es el agua pura a 4°C. A esa temperatura, el agua tiene su mayor densidad .

- La gravedad específica es la relación de la densidad de una sustancia sobre la densidad del agua a 4°C.
- La gravedad específicaa es la relación del peso específico de una sustancia sobre el peso específico del agua a 4°C.

$$sg = \frac{\gamma}{\gamma_w @ 4^\circ\text{C}} = \frac{\rho}{\rho_w @ 4^\circ\text{C}}$$

donde la gravedad específica (**sg**, por sus siglas en inglés), el subíndice (**s**) se refiere a la sustancia cuya gravedad específica está siendo determinada y el subíndice (**w**) se refiere al agua a 4°C.

$$\gamma_w @ 4^\circ\text{C} = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\rho_w @ 4^\circ\text{C} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_w @ 4^\circ\text{C} = 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_w @ 4^\circ\text{C} = 1,94 \text{ slugs/ft}^3$$

Por lo tanto, la definición matemática de la gravedad específica se puede escribir como

$$sg = \frac{\gamma_s}{9,81 \text{ kN/m}^3} = \frac{\rho_s}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$sg = \frac{\gamma_s}{62,4 \text{ lb/ft}^3} = \frac{\rho_s}{1,94 \text{ slugs/ft}^3}$$

# Gravedad Específica

## Ejemplos

- Calcule el peso de un depósito de aceite que tiene una masa de 825 kg.

### Solución:

Se tiene  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,

$$w = mg = 825 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 8093 \text{ kg m/s}^2 = 8,093 \times 10^3 \text{ kg m/s}^2 = 8,093 \text{ kN}$$

- Si el depósito del problema de anterior tiene un volumen de  $0,917 \text{ m}^3$ , calcule la densidad, el peso específico y la gravedad específica del aceite.

### Solución:

#### Densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{825 \text{ kg}}{0,917 \text{ m}^3} = 900 \text{ kg/m}^3$$

#### Peso específico:

$$\gamma_o = \frac{w}{V} = \frac{8,093 \text{ kN}}{0,917 \text{ m}^3} = 8,83 \text{ kN/m}^3$$

#### Gravedad específica:

$$sg_o = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{900 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,90$$



## Gravedad específica en grados Baumé o grados API

- La **gravedad específica** (GE) es la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua
- Se expresa como un número adimensional.

$$GE = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

- Si  $GE > 1$ , el fluido es más denso que el agua; si  $GE < 1$ , es menos denso.
- La gravedad específica **American Petroleum Institute (API)** o Baumé se reporte como

$$GE = \frac{60^\circ}{60^\circ} F$$

Esta notación indica que tanto el fluido de referencia (agua) como el aceite están a 60°F.

### Aplicación en Ingeniería de Fluidos

- La gravedad específica es fundamental para:
  - Diseñar sistemas de almacenamiento y transporte.
  - Selección de materiales para tuberías y válvulas.
  - Cálculo de empujes hidrostáticos y fuerzas en fluidos en reposo.
  - Se puede relacionar con escalas empíricas como los grados Baumé y API.
- También se usa para:
  - La gravedad específica es una propiedad importante para caracterizar fluidos.
  - Estimar viscosidades relativas.
  - Analizar separaciones de fases en procesos industriales.
  - Estas escalas se utilizan comúnmente para líquidos más livianos o más pesados que el agua, especialmente en la industria del petróleo.

# Gravedades Específicas de Petróleos Crudos

- Varían dependiendo de su origen geográfico.
- Crudos de la **cordillera occidental de EE.UU.**: GE entre 0.87 y 0.92.
- Petróleos del **Este de EE.UU.**: GE aproximadamente 0.82.
- **Petróleo crudo mexicano**: entre los más densos, con  $GE \approx 0.97$ .
- Algunos **petróleos asfálticos pesados**:  $GE > 1.0$ .

## Derivados del Petróleo y su Gravedad Específica

- Antes de su uso, la mayoría de los petróleos se **destilan** para mejorar su eficiencia energética.
- Productos destilados:
  - Gasolinas
  - Querosenos
  - Aceites
  - Combustibles industriales
- GE de estos derivados: entre 0.67 y 0.98.

## Ejemplo

La ecuación utilizada para calcular la gravedad específica cuando se conocen los grados Baumé es diferente para fluidos más ligeros que el agua y para líquidos más pesados que el agua.

**Grados Baumé: Líquidos más pesados que el agua**

Gravedad específica (sg)

$$sg = \frac{145}{145 - \text{grados Baumé}}$$

Grados Baumé a partir de sg

$$\text{grados Baumé} = 145 - \frac{145}{sg}$$

**Grados Baumé: Líquidos más ligeros que el agua**

Gravedad específica (sg)

$$sg = \frac{140}{130 + \text{grados Baumé}}$$

## Grados API (American Petroleum Institute)

Grados Baumé a partir de sg

$$\text{grados Baumé} = \frac{140}{\text{sg}} - 130$$

- La escala API es similar a la de Baumé, usada principalmente en la industria petrolera.
- Se aplica a líquidos más ligeros que el agua.

Gravedad específica (sg)

$$\text{sg} = \frac{141,5}{131,5 + \text{grados API}}$$

Grados API a partir de sg

$$\text{grados API} = \frac{141,5}{\text{sg}} - 131,5$$

### Interpretación de los grados API

- Grados API varían entre 10 y 80 para aceites.
- Valores típicos de combustibles: 20 a 70.
- Corresponden a valores de gravedad específica entre 0.93 y 0.70.
- Aceites más pesados tienen grados API más bajos.

# Tensión Superficial

- La **tensión superficial** es una propiedad importante de los líquidos.
- Puede observarse experimentalmente al colocar una aguja sobre la superficie del agua.
- Aunque la aguja debería hundirse por su peso, la tensión superficial puede sostenerla.
- La adición de un detergente reduce la tensión superficial, provocando que la aguja se hunda.

## ¿Qué es la Tensión Superficial?

- Se comporta como una película invisible en la interfase agua-aire.
- Las moléculas de agua se atraen entre sí bajo la superficie y hacia las moléculas en la superficie.
- Se mide como el **trabajo necesario por unidad de área** para llevar moléculas a la superficie.

$$\text{Tensión superficial} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Área}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = \text{N/m}$$

## Unidades Alternativas

- En el sistema inglés:

$$\frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{ft}^2} = \text{lb/ft}$$

- Estas unidades indican fuerza por unidad de longitud.
- Se relacionan directamente con la energía necesaria para incrementar el área de la superficie del líquido.

# Consecuencias Físicas de la Tensión Superficial

- Las gotas de agua tienden a adoptar forma esférica.
- Fenómenos como la **capilaridad** se deben a la tensión superficial.
- Afecta el comportamiento de líquidos en tubos delgados y materiales porosos.

## Capilaridad

- Es el ascenso o descenso de un líquido en un tubo delgado.
- Depende tanto de la tensión superficial como de la adhesión entre el líquido y las paredes.
- Ejemplos:
  - El mercurio forma una superficie convexa (bulbosa).
  - El agua asciende levemente por las paredes del tubo.

## Aplicaciones Prácticas

- Movimiento de líquidos en tejidos y papel.
- Comportamiento del agua en suelos y materiales porosos.
- Diseño de sistemas de microfluídica y sensores.

## Experimento Sugerido

1. Colocar cuidadosamente una aguja sobre la superficie del agua.
2. Observar cómo la tensión superficial la mantiene suspendida.
3. Agregar una gota de detergente.
4. Observar cómo la aguja se hunde al disminuir la tensión superficial.

# Tensión Superficial

**TABLA 1.4 Tensión superficial del agua**

Temperatura (°F)	Tensión superficial (mlb/ft)	Temperatura (°C)	Tensión superficial (mN/m)
32	5.18	0	75.6
40	5.13	5	74.9
50	5.09	10	74.2
60	5.03	20	72.8
70	4.97	30	71.2
80	4.91	40	69.6
90	4.86	50	67.9
100	4.79	60	66.2
120	4.67	70	64.5
140	4.53	80	62.7
160	4.40	90	60.8
180	4.26	100	58.9
200	4.12		
212	4.04		

Fuente: Adaptado bajo autorización y con base en los datos del *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. (Referencia 10).

Nota: Valores tomados a la presión atmosférica de  
1.0 lb = 1000 mlb; 1.0 N = 1000 mN.

# Tensión Superficial

**TABLA 1.5 Tensión superficial de algunos líquidos comunes**
**Tensión superficial a la temperatura indicada**

Líquido	10 °C (mN/m)	50 °F (mlb/ft)	25 °C (mN/m)	77 °F (mlb/ft)	50 °C (mN/m)	122 °F (mlb/ft)	75 °C (mN/m)	167 °F (mlb/ft)	100 °C (mN/m)	212 °F (mlb/ft)
Agua	74.2	5.08	72.0	4.93	67.9	4.65	63.6	4.36	58.9	4.04
Metanol	23.2	1.59	22.1	1.51	20.1	1.38				
Etanol	23.2	1.59	22.0	1.51	19.9	1.36				
Glicol etileno			48.0	3.29	45.8	3.14	43.5	2.98	41.3	2.83
Acetona	24.57	1.68	22.72	1.56	19.65	1.35				
Benceno			28.2	1.93	25.0	1.71	21.8	1.49		
Mercurio	488	33.4	485	33.2	480	32.9	475	32.5	470	32.2

*Fuente:* Adaptado bajo autorización y con base en los datos del *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. (Referencia 10).

*Nota:* Valores tomados a la presión atmosférica de 1.0 lb = 1000 mlb; 1.0 N = 1000 mN.



## Propiedades del Flujo y del Fluido

En Mecánica de Fluidos, las propiedades de flujo y fluido, así como los parámetros adimensionales de Reynolds y Mach, son conceptos fundamentales para comprender el comportamiento de los fluidos. El número de Reynolds indica la transición entre flujo laminar y turbulento, mientras que el número de Mach describe la relación entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido

- Densidad ( $\rho$ ): masa por unidad de volumen.
- Viscosidad ( $\mu$ ): resistencia al flujo.
- Presión ( $P$ ): fuerza por unidad de área.
- Temperatura ( $T$ ): energía térmica interna.
- Velocidad ( $v$ ): magnitud y dirección del movimiento del fluido.
- Tensión superficial ( $\sigma$ ): Fuerza por unidad de longitud que actúa sobre la superficie de un fluido.
- Flujo laminar: Flujo ordenado y paralelo.
- Flujo turbulento: Flujo irregular y desordenado.

**Problema:** Calcular la densidad del agua si 1 litro pesa 1 kg.

**Solución:**

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{1\text{kg}}{1/\text{litro}} = \frac{1\text{ kg}}{0,001\text{ m}^3} = 1000\text{kg/m}^3$$

# Número de Reynolds y Número de Mach

## Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

- Describe si el flujo es laminar o turbulento.
- $Re < 2000$ : flujo laminar.
- $Re > 4000$ : flujo turbulento.

## Número de Mach

$$Ma = \frac{v}{c}$$

- Relación entre la velocidad del flujo y la velocidad del sonido.
- $Ma < 1$ : flujo subsónico.
- $Ma > 1$ : flujo supersónico.

## Instrumentos de Medición

- Tubo de Pitot
- Venturímetro
- Placa de orificio
- Medidores ultrasónicos

**Ejemplo:** Un tubo de Pitot mide una presión diferencial de 1000 pascal en aire de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . ¿Cuál es la velocidad del aire?

Solución:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(1000)}{1,2}} \approx 40,82 \text{ m/s}$$

## Métodos ASTM 2161

La norma ASTM D2161 es un método estándar que permite la conversión de viscosidad cinemática a viscosidad Saybolt Universal

- Estándares para la conversión de gravedad API a densidad, masa específica y volumen.
- Utilizado en la industria del petróleo.
- Fórmula básica:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{\text{SG a } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

### Ejemplo: Conversión ASTM 2161

Calcular la gravedad API de un líquido con gravedad específica de 0.85 a 60 °F.

Solución:

$$API = \frac{141,5}{0,85} - 131,5 = 35,26$$

### Resumen

- Estudiamos las propiedades fundamentales de los fluidos.
- Aplicamos parámetros adimensionales para caracterizar flujos.
- Vimos métodos prácticos para medir velocidad de flujo.
- Usamos conversiones estandarizadas ASTM.

Gracias por su atención

¿Preguntas?