

# Mecánica de Fluidos

## Introducción

# 1. Objetivo

Mecánica de Fluidos es la disciplina que estudia el comportamiento estático y dinámico (en movimiento) de los fluidos.

## Aplicaciones →

- Flujo en tuberías.
- Turbomáquinas (compresores, turbinas, bombas, etc.).
- Transporte – Aerodinámica.
- Esfuerzos sobre cuerpos sumergidos (Puentes, compuertas, etc.)
- Sistemas de ventilación.
- Deportes (golf, tenis, etc.)
- Estudio de turbulencia.
- Circulación sanguínea (diseño de elementos de apoyo).
- Etc.

Análisis en mecánica de fluido se basa en la aplicación de las leyes fundamentales que gobiernan el movimiento:

- Conservación de masa.
- Segunda ley de movimiento de Newton.
- Principio de cantidad de movimiento angular.
- Primera ley de la termodinámica.
- Segunda ley de la termodinámica.

Además se utilizan otras relaciones para describir el comportamiento de las propiedades físicas de los fluidos:

- Ecuaciones de estado
- Relaciones de propiedades con variables de estado ( $p, T$ ).
- etc.

## 2. Definición de Fluido

Un Fluido se define como cualquier sustancia que se deforma en forma continua cuando se ejerce sobre ella un esfuerzo de corte o cizalle, independiente de la magnitud del esfuerzo.

Se diferencian de los sólidos en su estructura molecular.

Sólidos: Materia con gran densidad molecular y fuerzas intermoleculares cohesivas fuertes → mantienen la forma y son difíciles de deformar.

Líquidos: Menor densidad molecular y fuerzas intermoleculares cohesivas que los sólidos → mayor libertad de movimiento molecular. Ocupan un volumen fijo e independiente del recipiente que los contenga.

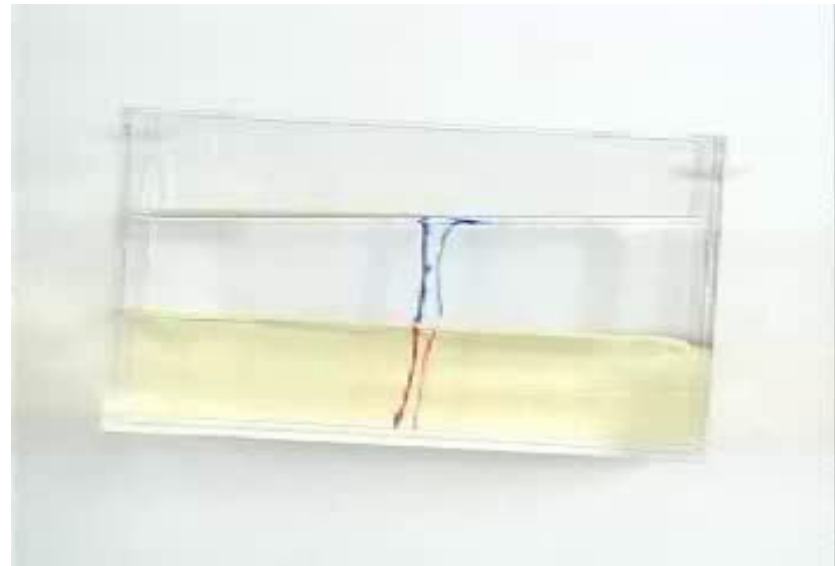
Gases: Menor densidad molecular que los líquidos. Fuerzas intermoleculares despreciables → fácilmente deformables, compresibles y llenan el volumen del recipiente que los contiene.

### Hipótesis básicas:

Análisis no se realiza a nivel molecular sino describiendo el valor macroscópico de las distintas variables de interés (velocidad, aceleración, presión, etc.) en un volumen pequeño (infinitesimal) con un gran número de moléculas → **partícula fluida**.

Mecánica de fluidos → Mecánica de medios continuos, es decir, tanto las propiedades del fluido como las variables del flujo varían en forma continua entre dos puntos de un mismo fluido y en la interfaz entre dos fluidos (sólido-líquido p.ej.).

Medio continuo → partículas fluidas en contacto con las demás a través de la superficie que encierra la partícula. Lo anterior indica por ejemplo que las fuerzas en un medio continuo se transmiten de un lugar a otro del fluido a través de los esfuerzos presentes entre en las superficies de contacto. Además estos esfuerzos deben ser continuos (iguales) entre dos superficies adyacentes.



### 3. Sistema de unidades

Se utilizará preferentemente el sistema internacional de unidades SI.

#### - Magnitudes básicas

Magnitud	Dimensión	Unidad SI	Abreviación
Longitud	L	metro	m
tiempo	T	segundo	s
masa	M	kilogramo	kg
temperatura	$\theta$	Kelvin	K
materia		Mol	mol

#### - Magnitudes derivadas

Magnitud	Unidad SI	Abreviación
tiempo	minuto	min
	hora	h
	día	d
Frecuencia	Hertz	Hz
presión	Pascal	Pa
	Bar	bar
viscosidad dinámica	Pascalsegundo	Pa s
Energía, trabajo, calor	Joule	J
Potencia, flujo de energía, flujo de calor	Watt	W

## - Múltiplos y fracciones

Factor	Prefijo	Abreviación	Factor	Prefijo	Abreviación
$10^{12}$	tera	T	$10^{-1}$	deci	d
$10^9$	giga	G	$10^{-2}$	centi	c
$10^6$	mega	M	$10^{-3}$	milli	m
$10^3$	kilo	k	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^2$	hecto	h	$10^{-9}$	nano	n
10	deca	da	$10^{-12}$	pico	p

## - Conversión

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} = 86400 \text{ s}$$

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm}/\text{s}^2$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \frac{1}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 10^5 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \frac{1}{\text{m}^2} = 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$$

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s}/\text{m}^2 = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \frac{1}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W s} = 1 \text{ N m} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \text{m} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s} = 1 \text{ N m}/\text{s} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3}$$



# 4. Propiedades

## 4.1 Densidad $\rho$ :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Masa (m) por unidad de volumen (V)}$$

### Dimensiones

$$\frac{\text{masa}}{\text{Longitud}^3} = \frac{M}{L^3}$$

### Unidades

$$\frac{kg}{m^3} \quad \text{Sistema internacional}$$

$$\frac{slug}{ft^3} \quad \text{Sistema gravitacional británico}$$

En general la densidad depende de la presión y la temperatura:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \beta_T \cdot dp - \beta_p \cdot dT$$

$\beta_T, \beta_p$ : coeficientes de compresibilidad isotérmico e isobárico respectivamente.

Líquidos:

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1 + \beta_p \Delta T) (1 - \beta_T \Delta p)}$$

Gases:

$$\rho = \frac{p}{R_g T} \quad \text{Gases ideales}$$

$$\rho = \frac{p}{Z R T} \quad \text{Gases no ideales}$$

Relación entre la densidad y la presión en un proceso de expansión o compresión depende de la naturaleza del proceso:

$$\frac{p}{\rho} = \text{cte} \quad \text{Proceso isotérmico (T=cte.)}$$

$$\frac{p}{\rho^k} = \text{cte} \quad \text{Proceso isoentrópico (s=cte.)}$$

Densidad del aire: Aire es una mezcla de gases y contiene una cantidad de vapor de agua que depende de la presión y la temperatura:

$$\rho_h = \rho_s \left( 1 - 0.377 \varphi \frac{p_d}{p} \right)$$

## 4.2 Volumen específico, $v$ :

$$v = \frac{1}{\rho} \quad \text{Volumen por unidad de Masa}$$

## 4.3 Peso específico, $\gamma$ :

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \text{Peso por unidad de Volumen}$$

4.4 Gravedad específica, SG: Relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua a una temperatura dada (4°C):

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O, 4^\circ C}}$$

## 4.5 Compresibilidad, Módulo de compresibilidad $E_v$ :

$$E_v = -\frac{dp}{dV/V} [Pa] = \frac{dp}{d\rho/\rho}$$

$E_v = 2.21$  [GPa] Agua (20°C);  $E_v \approx p$  (Aire)

4.6 Velocidad del sonido,  $c$ : Velocidad de propagación de una onda de presión o acústica en un medio.

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

Suponiendo el proceso de propagación como isoentrópico →

$$c \approx \sqrt{\frac{1}{\beta_T \rho}} = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \quad \text{Líquidos}$$

$$c = \sqrt{p v k} = \sqrt{\frac{p k}{\rho}} = \sqrt{k R T} \propto T^{1/2} \quad \text{Gases}$$

## 4.7 Presión de vapor

Presión de equilibrio que se alcanza sobre un líquido cuando este es colocado en un recipiente cerrado e inicialmente al vacío.

La presión de vapor depende fuertemente de la temperatura y aumenta con ella (actividad molecular).

Presión a la cual está sometido un líquido = Presión de vapor → Se produce la ebullición del líquido → Cavitación.

## 4.8 Tensión superficial

Propiedad de los fluidos (fuerza por unidad de longitud) que resulta de las fuerzas de atracción molecular y aparece por lo tanto solo en la interfaz entre dos elementos con diferentes densidades (sólido-líquido; líquido-gas, etc.) → Capilaridad.

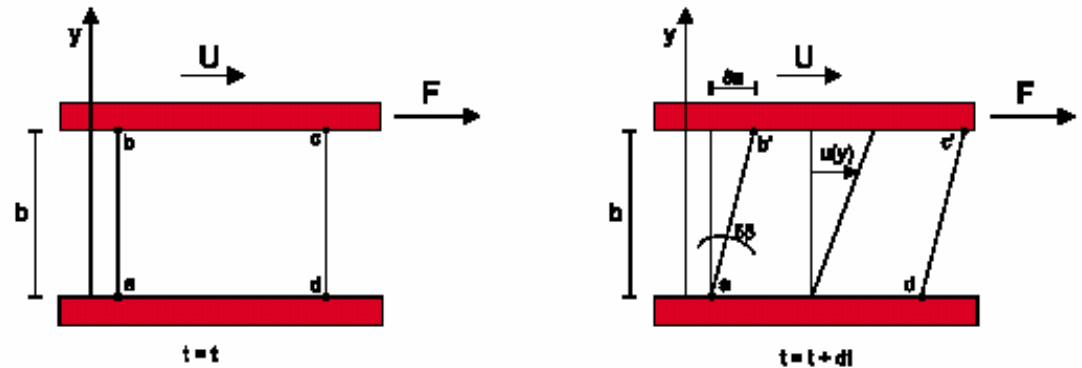
## 4.9 Viscosidad:

La resistencia que ofrece un fluido para deformarse depende de la velocidad de deformación y de una propiedad del fluido llamada viscosidad.

### Viscosidad dinámica, $\mu$ :

Se obtiene:

$$F \propto \frac{AU}{b}$$

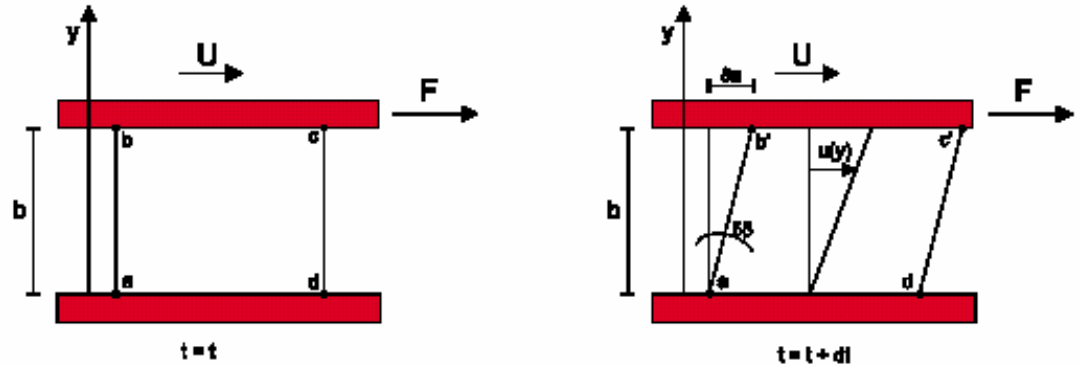


Como constante de proporcionalidad se introduce la viscosidad dinámica →

$$F = \mu \frac{AU}{b}$$

Esfuerzo:

$$\tau = \mu \frac{U}{b}$$



$U/b$  es la velocidad angular de deformación o variación temporal del ángulo  $\delta\beta$  (velocidad angular de  $ab$ )  $\rightarrow$

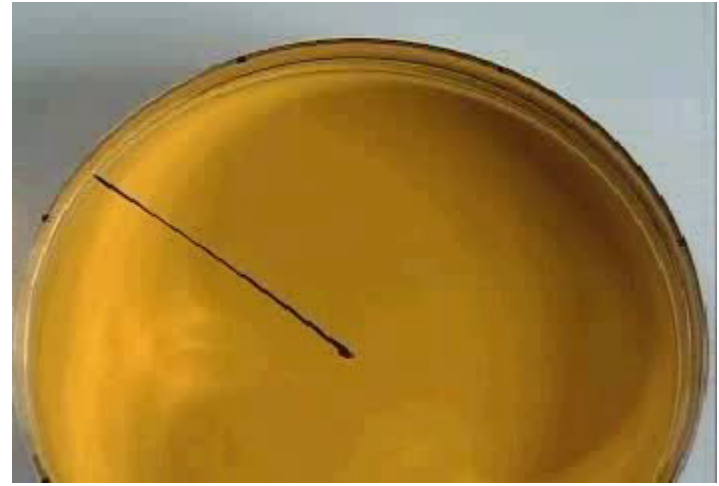
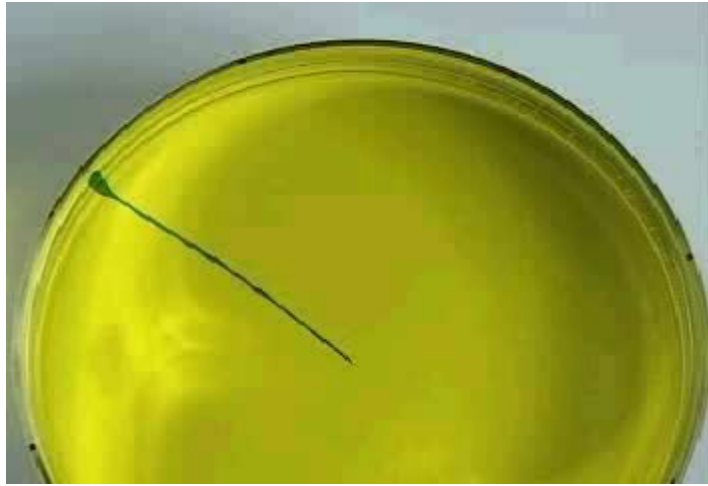
$$\frac{\delta\beta}{\delta t} = \dot{\beta} = \frac{U}{b}$$

Elemento diferencial  $\rightarrow$

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

Ley de viscosidad de Newton



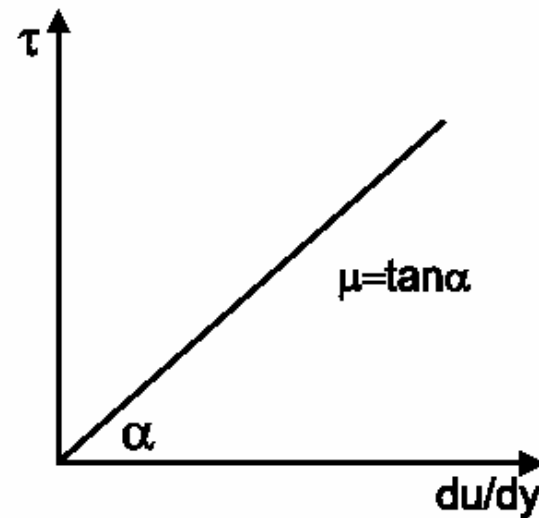
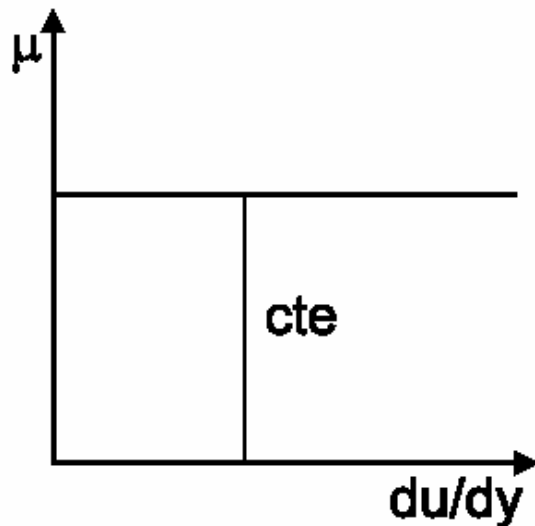


Viscosidad dinámica es una propiedad característica del fluido y depende de la temperatura y la presión  $\rightarrow \mu = \mu(p, T)$ .

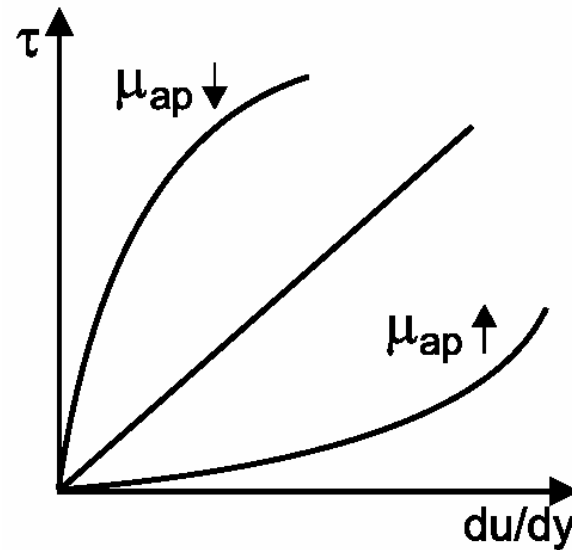
La unidad de la viscosidad en el SI es el Pascalsegundo [Pa·s]

La relación funcional entre la viscosidad y la velocidad de deformación permite hacer la siguiente clasificación:

- Fluidos newtonianos: la viscosidad dinámica es independiente de la velocidad de deformación  $\rightarrow$  relación lineal entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de deformación



- Fluidos no newtonianos: la viscosidad dinámica no es independiente de la velocidad de deformación



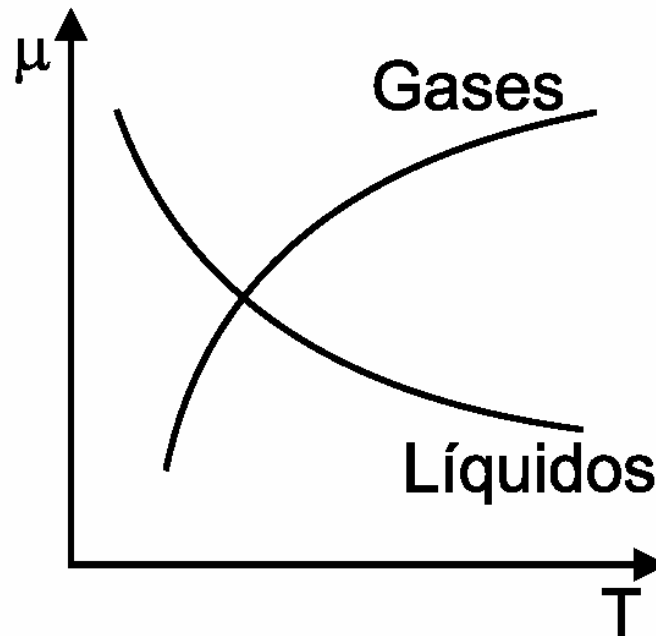
Viscosidad cinemática,  $\nu$ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

## Dependencia de la viscosidad con la temperatura:

La resistencia a la deformación depende de:

- cohesión molecular (predominante en líquidos) que disminuye con la temperatura.
- rapidez de transferencia de cantidad de movimiento que aumenta con la temperatura (predominante en gases)



# 5. Conceptos básicos

## 5.1 Campo de velocidades, perfil de velocidades

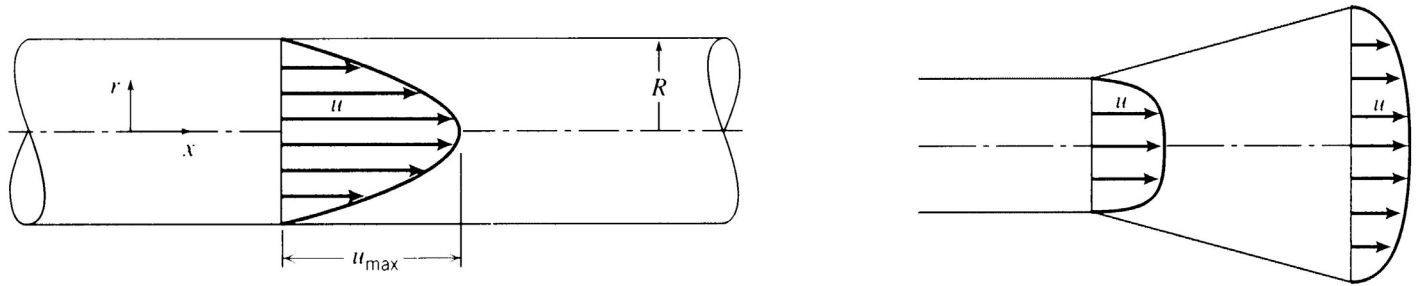
El campo de velocidades es la representación vectorial de la velocidad de una partícula fluida genérica del flujo. En general el campo de velocidades dependerá, además de la posición  $(x,y,z)$ , del tiempo  $(t)$ . Como es un campo vectorial se puede escribir en términos de tres componentes escalares  $u,v,w \rightarrow$

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t) = u(x, y, z, t)\hat{i} + v(x, y, z, t)\hat{j} + w(x, y, z, t)\hat{k}$$

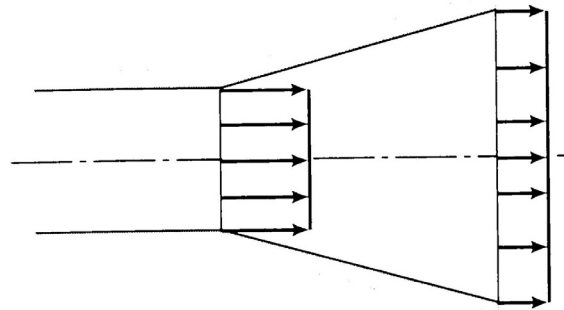
Un flujo se puede clasificar en uni-, bi- y tridimensional dependiendo del número de coordenadas espaciales  $(x,y,z)$  requeridas para especificar el campo de velocidades.

Un flujo se dice permanente si las propiedades del flujo como del fluido no varían en el tiempo.

El perfil de velocidades es la representación del campo de velocidades en una superficie normal al flujo sobre todo el sistema.



Flujo uniforme  $\rightarrow$  perfil de velocidades es constante en una superficie normal al flujo.



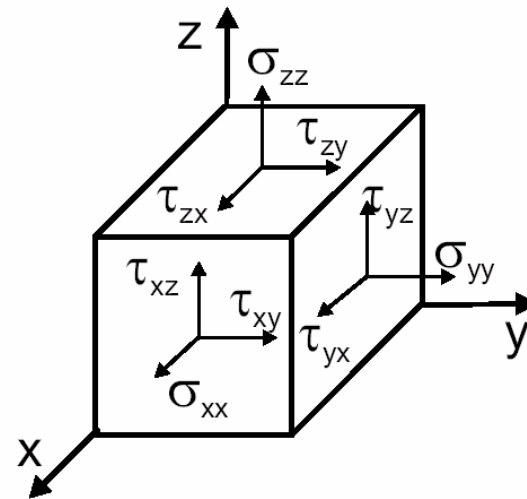
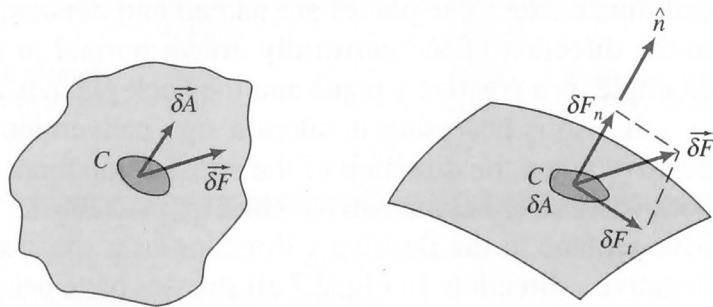
## 5.2 Campo de tensiones o esfuerzos

Fuerzas:

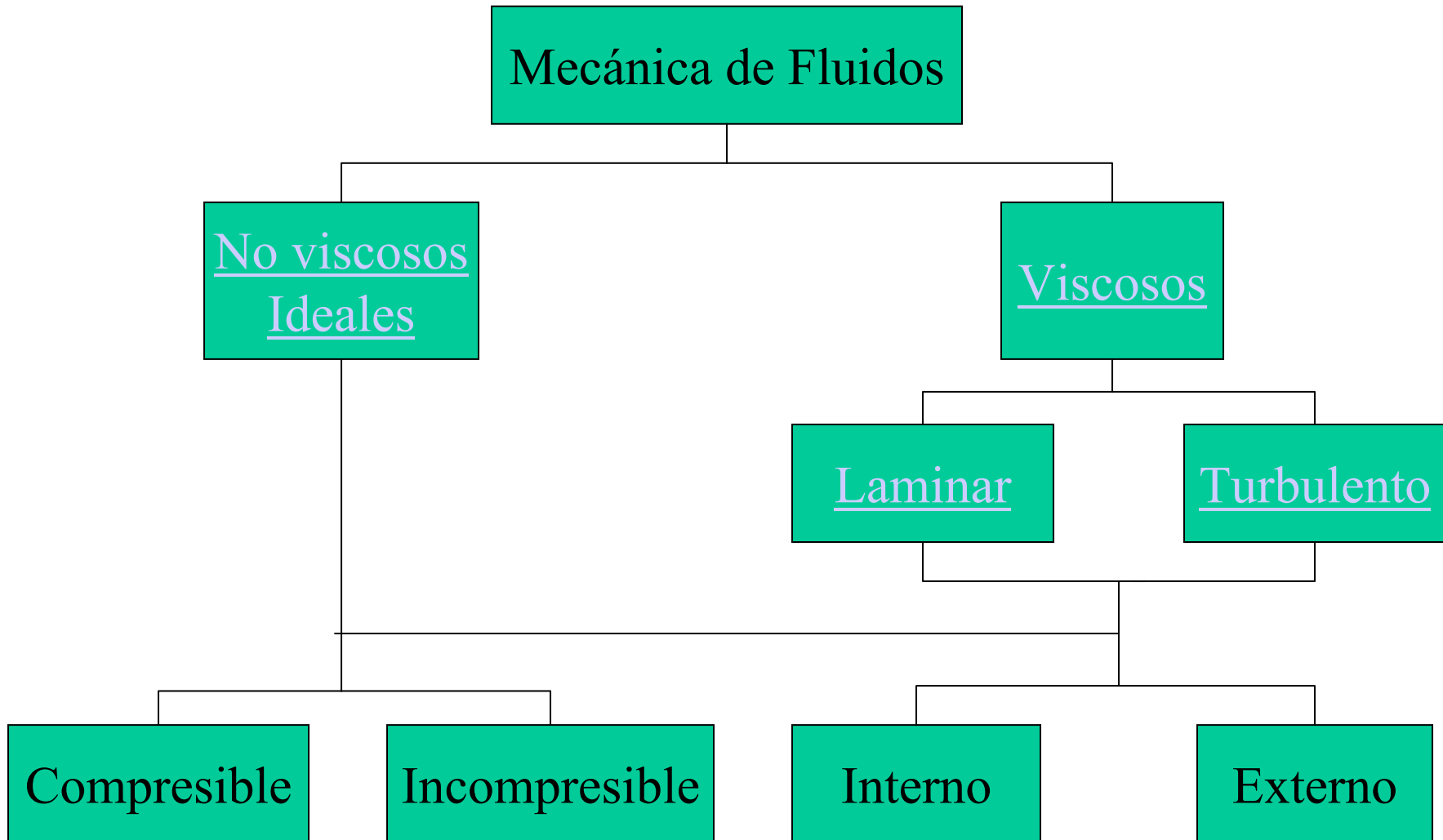
- Volumen  $\rightarrow$  fuerzas gravitacionales (Peso).
- Superficiales  $\rightarrow$  actúan en los bordes de contacto entre dos superficies.

Esfuerzos:

- Fuerzas por unidad de superficie (Fuerzas superficiales).
- Se transmiten a través del medio.
- Escalares.



## 5.3 Descripción y clasificación





## Fluidos ideales y fluidos viscosos

Fluidos ideales ( $\mu=0$ )  $\rightarrow$

- Flujos en los cuales los efectos de la viscosidad son despreciables.
- No existirán esfuerzos de corte (ley de viscosidad de Newton).
- Esfuerzos normales persisten.
- Las partículas fluidas no se deforman.

Fluidos viscosos  $\rightarrow$

- Efectos de la viscosidad no son despreciables.
- Existirán esfuerzos de corte.
- Deformación de las partículas fluidas.

## Flujo laminar y turbulento

Flujo laminar: Estructura del flujo es caracterizada por un movimiento suave en láminas o capas. No existe mezcla macroscópica entre las distintas capas de fluido (solo la causada por difusión molecular → microscópica).

Flujo turbulento: Estructura del flujo es caracterizada por un movimiento aleatorio y tridimensional de las partículas en superposición al movimiento principal del flujo. Existe, por lo tanto, una rápida mezcla macroscópica entre las distintas capas de fluido.

