

# Clase # 1: Propiedades de los fluidos [MF100]

**Luis Alejandro Morales**

Profesor Asistente

Universidad Nacional de Colombia-Bogotá

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Periodo 2022-II

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduccion</b>	<b>1</b>
1.1	Que es un fluido? . . . . .	1
1.2	Sistemas de unidades . . . . .	2
1.2.1	Algunas unidades en SI y sistema Ingles . . . . .	3
1.2.2	Dimensiones homogeneas y conversión de unidades . . . . .	4
1.3	Clasificación de los fluidos . . . . .	6
1.3.1	Flujos viscosos vs flujos inviscidos . . . . .	6
1.3.2	Flujos internos vs flujos externos . . . . .	6
1.3.3	Flujos compresibles vs flujos incompresibles . . . . .	6
1.3.4	Flujo laminar vs flujo turbulento . . . . .	6
1.3.5	Flujos naturales vs flujos forzados . . . . .	6
1.3.6	Flujo permanente vs flujo no permanente . . . . .	7
1.3.7	Flujo en una, dos y tres dimensiones . . . . .	7

## 1 Introduccion

**Definition 1.** *La mecanica de fluidos es la ciencia que hace parte de la mecanica clasica la cual estudia los fluidos estaticos o en movimiento y su interaccion con otros objetos o fluidos.*

La mecanica de fluidos puede ser dividida en diferentes categorias:

- **Hidrodinamica:** La cual estudia fluidos en moviento que pueden ser considerados incompresibles e.g. agua and gases a bajas velocidades.
- **Hidraulica:** Estudia el movimiento de liquidos en tuverias y canales abiertos (e.g. Rios).
- **Dinamica de gases:** Estudia el flujo de fluidos sometidos a cambios importantes de la densidad, e.g. flujo de gases a alta velocidad.
- **Aerodinamica:** Estudio del movimiento de gases, principalmente aire, alrededor de objetos e.g. cabina de un avion, cohetes y automobiles.

Es importante tener nociones basicas de la mecanica de fluidos ya que se utiliza para comprender fenomenos fisicos cotidianos (e.g. sistema circulatorio y respiratorio en los seres humanos, las olas, el ciclo del agua, patrones de clima) y para el diseno de muchos artefactos mecanicos en ingenieria como por ejemplo: carros (inyectores, carburador, pistones, sistema de frenos), aviones, embarcaciones, cohetes, turbinas, submarinos. En ingenieria civil el diseno de acueductos, canales, puentes y edificacion son disenadas con principios basados en la mecanica de fluidos con el fin de garantizar que dichas estructuras puedan soportar esfuerzos producidos por el agua y el viento.

## 1.1 Que es un fluido?

De la fisica, los fluidos existen en tres diferentes estados: solido, liquido, gaseoso y plasma (a altas temperaturas). La diferencia entre un fluido y un solido es en la habilidad de resistir esfuerzos que tienden a cambiar su forma. Por tante, mientras un solido es capaz de resistir esfuerzos cuando se deforma, **un fluido se deforma continuamente y sin parar cuando se aplica un esfuerzo** sin importar su magnitud. Sin consideramos la goma solida de la Figura 1 la cual esta fija a una base y a la cual se le aplica una fuerza  $F$  paralela a la base, la goma se deforma y su angulo de deformacion ( $\alpha$ ), denominado **resistencia al esfuerzo o desplazamiento angular**, es proporcional a  $F$ . La fuerza actuante contraria a  $F$  debido a la friccion entre la plaza superior y la goma, es igual  $F = \tau A$  donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante y  $A$  es el area de contacto entre ambas superficies. Si en lugar de la goma tuvieramos un liquido, las capas mas cercanas a la placa superior se moverian continuamente, sin importar la magnitud de la fuerza, y la velocidad decreceria con la profundidad.

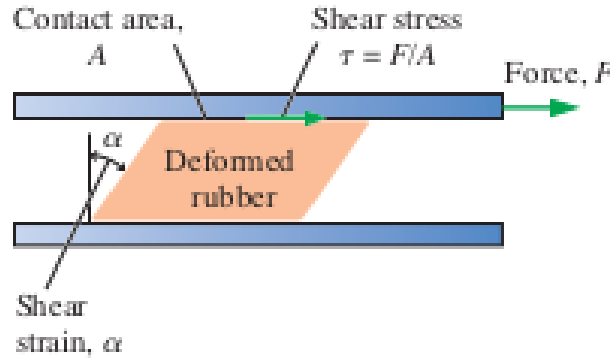


Figure 1: Deformacion de una goma debido a una fuerza horizontal aplicada sobre la lamina superior [?].

De la estatica de cuerpos podemos definir:

**Definition 2.** *Estres se define como la fuerza por unidad de area y se calcula como fuerza  $F$  dividida por el area  $A$  sobre la cual actua la fuerza. Al descomponer la fuerza actuante, la fuerza normal dividida por el area es el estres normal y la componente tangencial por unidad de area es el esfuerzo cortante. Por ejemplo en un fluido en reposo (esfuerzo cortante igual a cero), el esfuerzo normal es la presion.*

Liquidos y gases (o vapores) se diferencian en que al tener un liquido en un contenedor, el volumen del liquido permanece constante formando una superficie libre porque la fuerza de cohesion entre las moleculas es alta y las moleculas estan cerca. En contraste, en un gas las moleculas se mueven aleatoriamente y estan mas alejadas y tienden a ocupar todo el volumen del contenedor debido a la debil fuerza cohesiva de sus moleculas (ver Figure 2). Fluidos como el asfalto o lodos se comportan como solidos y liquidos dependiente de la magnitud de los esfuerzos aplicados.

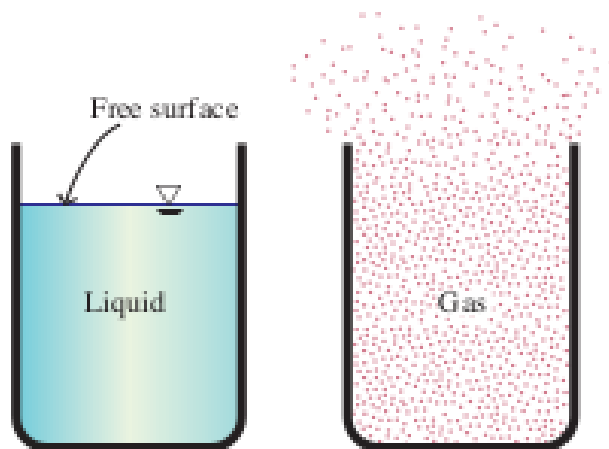


Figure 2: Liquidos y gases [?].

## 1.2 Sistemas de unidades

Cualquier cantidad es caracterizada por sus **dimensiones** y las magnitudes asignadas a las dimensiones son llamadas **unidades**.

**Definition 3.** *Dimensiones fundamentales o primarias son la masa  $\{M\}$ , la longitud  $\{L\}$ , el tiempo  $\{T\}$  y la temperatura  $\{\Theta\}$ . De estas se derivan por ejemplo las dimensiones de la velocidad  $V$ , de la energía  $E$  y de el volumen  $V$ , estas son denominadas **dimensiones secundarias** o **dimensiones derivadas**.*

Existen dos sistemas de unidades: el **Sistema Ingles** y el **Sistema Internacional (SI)**. El SI esta basado relaciones decimales simples entre las unidades y es el mas usados (ver Tabla 2). El sistema Ingles relaciones abitrarries entre unidades y es usado principalmente en Estados Unidos y el Reino Unido.

Dimensión	Unidad
Longitud $\{L\}$	metro ( $m$ )
Masa $\{M\}$	kilogramo ( $kg$ )
Tiempo $\{T\}$	segundo ( $s$ )
Temperatura $\{\Theta\}$	kelvin ( $K$ )
Corriente eléctrica	amperio ( $A$ )
Intensidad de luz	candela ( $cd$ )
Cantidad de materia	mol ( $mol$ )

Table 1: Las siete dimensiones fundamentales y sus unidades.

El SI esta basado en relaciones decimales entre unidades. Los prefijos usados para expresar los multiples de varios unidades estan en la Tabla 2. Estos prefijos son standards para todas las unidades.

Multiplo	Prefijo
$10^{24}$	yotta, Y
$10^{21}$	zetta, Z
$10^{18}$	exa, E
$10^{15}$	peta, P
$10^{12}$	tera, T
$10^9$	giga, G
$10^6$	mega, M
$10^3$	kilo, k
$10^2$	hecto, h
$10^1$	deka, da
$10^{-1}$	deci, d
$10^{-2}$	centi, c
$10^{-3}$	mili, m
$10^{-6}$	micro, $\mu$
$10^{-9}$	nano, n
$10^{-12}$	pico, p
$10^{-15}$	femto, f
$10^{-18}$	atto, a
$10^{-21}$	zepto, z
$10^{-24}$	yocto, y

Table 2: Prefijos standard en el SI de unidades.

### 1.2.1 Algunas unidades en SI y sistema Ingles

En sistema Ingles, la masa, la longitud y el tiempo, estan dados en libras ( $lbm$ ), pies ( $ft$ ) y segundos ( $s$ ). La equivalencia con el SI es:

$$1lb = 0.45359kg$$

$$1ft = 0.3048m$$

Las unidades de fuerza son derivadas de la segunda ley de Newton:

$$Fuerza = (masa)(aceleracion)$$

$$F = ma$$

En SI las unidades de fuerza son newton ( $N$ ), la cual es la fuerza requerida para acelerar una masa de  $1\text{ kg}$  a una tasa de  $1\text{ ms}^{-2}$ . En sistema Ingles las unidades de fuerza son la libra fuerza ( $lbf$ ) y es definida como la fuerza requerida para acelerar una masa de  $1\text{ slug}$  ( $32.174\text{ lbm}$ ) a una tasa de  $1\text{ fts}^{-2}$ .

El peso de un objeto es la fuerza ejercida por la gravedad sobre dicho objeto y se determina aplicando la segunda ley de Newton, en donde  $m$  es la masa del cuerpo y  $a = g$  es la aceleración local de la gravedad  $g = 9.807\text{ ms}^{-2}$  o  $g = 32.174\text{ fts}^{-2}$  a nivel del mar.  $g$  cambia a grandes distancias de la tierra, pero puede considerarse constante para el análisis físico de objetos terrestres. La masa es la misma en cualquier parte del universo. Utilizando el concepto de peso,  $1\text{ N}$  es equivalente al peso de  $1$  manzana ( $m = 102\text{ g}$ );  $1\text{ lbf}$  equivalente al peso de  $4$  manzanas ( $m = 454\text{ g}$ ). El peso por unidad de volumen es llamado peso específico  $\gamma = \rho g$  donde  $\rho$  es la densidad.

El **trabajo** el cual es una forma de energía se define como el producto entre fuerza y distancia y sus unidades es el joule ( $J$ ):

$$1J = 1N.m$$

$1$  caloria ( $cal$ ) es definida como la cantidad de trabajo necesario para incrementar en  $1\text{ }^{\circ}C$  la temperatura de un gramo de agua a una temperatura de  $14.5\text{ }^{\circ}C$ . La **potencia** es conocida como el trabajo por unidad de tiempo y esta dada en watt ( $W = Js^{-1}$ ). Otra unidad conocida son los caballos de potencia;  $1hp = 745.7W$ . La energía eléctrica es típicamente expresada en kilowatt-hora  $kWh$  equivalente a  $3600\text{ kJ}$ . Por ejemplo, un electrodoméstico con una potencia de  $1\text{ kW}$  consume  $1\text{ kWh}$  de electricidad funcionando continuamente durante una hora.

### 1.2.2 Dimensiones homogéneas y conversión de unidades

En ingeniería y ciencias, todas las ecuaciones deben ser dimensionalmente homogéneas, esto quiere decir que las cantidades que se suman o restan en la ecuación tienen las mismas dimensiones. Por ejemplo, en la ecuación de Bernoulli para flujo incompresible:

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gZ = \text{constante}$$

todos los términos de la ecuación tienen dimensiones de presión [ $ML^{-1}T^{-2}$ ].

Como lo habíamos expresado antes, las unidades secundarias son aquellas que se expresan con base en unidades primarias. Por ejemplo, la fuerza está expresada como:

$$N = kg \frac{m}{s^2}$$

$$lbf = 32.174\text{ lbm} \frac{ft}{s^2}$$

Estas pueden expresarse como **fracciones de conversión unitarias**:

$$\frac{N}{kg.m/s^2} = 1$$

$$\frac{lbf}{32.174\text{ lbm.ft/s}^2} = 1$$

y son útiles para la conversión de unidades.

**Example 1.** Un cuerpo pesa  $1000\text{ lbf}$  en la tierra donde la gravedad es  $g = 32.174\text{ ft s}^{-2}$ . a) ¿Cuál es la masa en  $kg$ ? b) ¿Cuál es el peso de este cuerpo en  $N$  en la luna donde la gravedad es  $g_{moon} = 1.62\text{ m s}^{-2}$ ? c) ¿Que tan rápido el cuerpo es acelerado si la fuerza neta aplicada sobre este  $400\text{ lbf}$  en la tierra o en la luna?

#### Solución

##### Parte a

De acuerdo con la ley de Newton:

$$F = W = 1000\text{ lbf} = mg = (m)(32.174\text{ ft/s}^2)$$

despejando para  $m$ , tenemos:

$$m = \frac{1000 \text{ lbf}}{32.174 \text{ ft/s}^2} = 31.08 \text{ slugs}$$

convirtiendo a kg:

$$m = 31.08 \text{ slugs} = (31.08 \text{ slugs})(14.5939 \text{ kg/slugs}) = 454 \text{ kg}$$

**La masa del cuerpo es 454 kg**

#### Parte b

Teniendo en cuenta que la masa calculada igual a 454 kg es la misma en cualquier parte del universo, usando la segunda ley de Newton:

$$F = W_{\text{luna}} = mg_{\text{luna}} = (454 \text{ kg})(1.62 \text{ m/s}^2) = 735 \text{ N}$$

**El peso del cuerpo en la luna es 735 N**

#### Parte c

Aplicando la segunda ley de Newton y teniendo en cuenta que la masa permanece constante:

$$F = 400 \text{ lbf} = ma = (31.08 \text{ slugs})a$$

despejando  $a$ :

$$a = \frac{400 \text{ lbf}}{31.08 \text{ slugs}} = 12.87 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} \left( 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} \right) = 3.92 \text{ m/s}^2$$

**La aceleración del cuerpo sometido a dicha fuerza en cualquier parte es 3.92 m s<sup>-2</sup>**

**Example 2.** La formula de Stokes-Oseen

$$F = 3\pi\mu DV + \frac{9\pi}{16}\rho V^2 D^2$$

sirve para calcular la fuerza de arrastre  $F$  de una esfera de diametro  $D$  en un fluido a velocidad baja  $V$ , con una densidad  $\rho$  y con una viscosidad  $\mu$ . ¿Es la formula dimensionalmente homogenea?

#### Solución

De la segunda ley de Newton,  $F = ma$ , cuyas unidades son  $\{M\}\{LT^{-2}\}$ . Reemplazando las unidades en la ecuación:

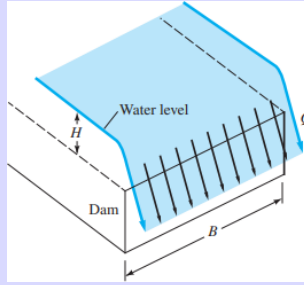
$$\{M\}\{LT^{-2}\} = 3\pi\{ML^{-1}T^{-1}\}\{L\}\{LT^{-1}\} + \frac{9\pi}{16}\{ML^{-3}\}\{L^2T^{-2}\}\{L^2\}$$

simplificando el lado izquierdo de la ecuación:

$$\{M\}\{LT^{-2}\} = 3\pi\{MLT^{-2}\} + \frac{9\pi}{16}\{MLT^{-2}\}$$

**La ecuación de Stokes-Oseen es dimensionalmente homogenea.**

**Example 3.** La figure muestra el flujo sobre una presa. El caudal  $Q$  es conocido y depende del ancho de la cresta de la presa  $B$ , la aceleración de la gravedad  $g$ , y de la profundidad aguas arriba por encima de la cresta. Es conocido que  $Q$  es proporcional a  $B$ . ¿Como es la ecuación para estimar  $Q$ ?



### Solución

De acuerdo con el problema sabemos que  $Q = f(B, g, H)$  y que  $Q \propto B$ . Las unidades de las variables son:

$$Q \frac{\{L^3\}}{\{T\}}; \quad B \{L\}; \quad g \frac{\{L\}}{\{T^2\}}; \quad H \{L\}$$

Teniendo en cuenta que la función  $Q = f(B, g, H)$  debe ser dimensionalmente homogénea; ambos lados de la ecuación deben tener las mismas unidades, tenemos que:

$$\frac{\{L^3\}}{\{T\}} \propto \{L\} \frac{\{L\}^{1/2}}{\{T^2\}^{1/2}} \{L^{3/2}\}$$

simplificando:

$$\frac{\{L^3\}}{\{T\}} \propto \frac{\{L^3\}}{\{T\}}$$

**La función para  $Q$  es  $Q = C B g^{1/2} H^{3/2}$  donde  $C$  es una constante de proporcionalidad.**

## 1.3 Clasificación de los fluidos

### 1.3.1 Flujos viscosos vs flujos inviscidos

La resistencia interna a fluir de un fluido es denominada como **viscosidad** el cual es una medida de la pegajosidad de un fluido. La viscosidad es causada por las fuerzas cohesivas entre moléculas en líquidos y por las colisiones moleculares en gases. Flujos en los cuales las fuerzas de fricción son significantes son llamadas **flujos viscosos**. Sin embargo existen regiones en las cuales las fuerzas muy pequeñas en comparación con fuerzas inerciales y o de presión y son denominadas regiones de **flujo inviscido**.

### 1.3.2 Flujos internos vs flujos externos

Un flujo es clasificado como externo o interno dependiendo de si fluye sobre una superficie o en un espacio confinado. Por ejemplo, el flujo sobre una lámina o un cilindro se denomina **flujo externo**. El flujo a lo largo de una tubería (e.g en un acueducto) se denomina **flujo interno**. En flujos internos son dominados por la viscosidad mientras que en flujos externos la viscosidad están limitados a la capa límite.

### 1.3.3 Flujos compresibles vs flujos incompresibles

Un **flujo compresible** es un flujo en el cual la densidad varía mientras un **flujo incompresible** es aquel en donde la densidad permanece constante (cada porción del volumen del flujo permanece igual). Los líquidos son considerados como fluidos incompresibles mientras que los gases, los cuales cambian su densidad cuando son sometidos a presión, son considerados compresibles. Mientras que un fluido sometido a una presión igual 210 atm cambia su densidad en un 1%, un gas cambia en la misma proporción cuando se aumenta la presión en 0.01 atm.

### 1.3.4 Flujo laminar vs flujo turbulento

Aquellos flujos que se mueven ordenadamente formando laminas de particulas que se mueven adyacentemente son denonominados **flujos laminares**. Flujos altamente viscosos como el aceite moviendose a velocidades bajas son tipicamente laminares. En contraste, flujos que mueven de manera desordenada debido a las altas velocidades son denominados **flujos turbulentos**. Flujos de baja viscosidad como el aire son considerados como turbulentos. Un flujo que cambia de laminar a turbulento o viceversa es un **flujo de transición** (see Figura 3). Los experimentos realizados por Osborne Reynolds en 1880 resultaron en el establecimiento del **Numero de Reynolds**, el cual es un numero adimensional que se usa para clasificar el regimen de flujo en tuberias.

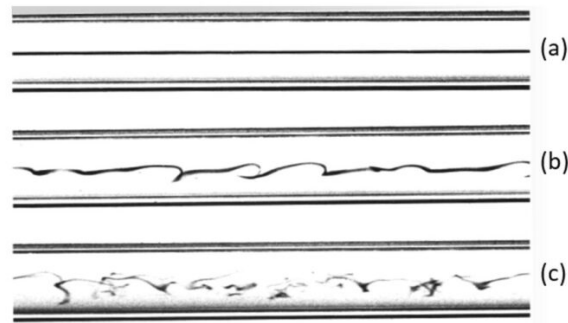


Figure 3: a) flujo laminar, b) flujo de transicion y c) flujo turbulento (Ansys, Inc.).

### 1.3.5 Flujos naturales vs flujos forzados

Un flujo es natural o forzado dependiendo de como el movimiento del fluido es iniciado. Un **flujo forzado** es un flujo cuyo movimiento es iniciado por un medio externo como por ejemplo una bomba o un ventilador en una tuberia. En contraste, un **flujo natural** es producido por medios naturales como por ejemplo el movimiento ascendente de flujos calientes y el moviento descendiente de flujos frios en un lago gracias a los cambios de temperatura y por lo tanto de la densidad.

### 1.3.6 Flujo permanente vs flujo no permanente

Un **flujo permanente** es aquel en donde propiedades como la velocidad, la temperature, etc en un punto no cambian en un intervalo de tiempo. Lo opuesto ocurre en **flujos no permanentes** o **flujos transitorios**. Bombas, compresores e intercambiadores de calor funcionan, en terminos generales y por largos periodos de tiempo, bajo condiciones de flujo permanente a pesar que el flujo local se comporta como flujo no permanente. Esto quiere decir que la masa, el volumen y la energia tambien permanecen constantes. El estudio de flujos permanentes implica promediar características de flujo como campos de flujo y de presión (ver Figura 4b). Sin embargo, si se requiere estudiar las vibraciones inducidas por un flujo, fluctuaciones de presión y ondas, es necesario considerar el flujo como no permanente (ver Figura 4a).

### 1.3.7 Flujo en una, dos y tres dimensiones

Dependiendo de la distribución de la velocidad, un flujo puede ser clasificado como unidimensional, bidimensional o tridimensional. Un **flujo tridimensional (3D)** es aquel en el cual la velocidad cambia en las tres dimensiones espaciales;  $\vec{V}(x, y, z)$  en coordenadas cartesianas o  $\vec{V}(r, \theta, z)$  en coordenadas cilindricas. Cuando la variación de la velocidad es menor en cierta dirección con respecto a otra dirección, el flujo puede considerarse como **bidimensional (2D)** o **unidimensional (1D)**. Consideremos un flujo permanente a travez de una tuberia circular conectada a un tanque (ver Figura 5). De acuerdo a la condición de no deslizamiento, la velocidad en las paredes de la tuberia es zero. El flujo es 2D en la región de entrada a la tuberia por que la velocidad cambia con respecto a la dirección en  $r$  y  $z$ . El perfil de velocidades en la tuberia al desarrollarse completamente despues de cierta distancia de la entrada se considera un flujo 1D por que solo varia en la dirección radial  $r$ . Note que el flujo es 1D en coordenadas cilindricas y 2D en cordenadas cartersianas; de ahí la importancia de escoger correctamente el sistema de coordenadas. El flujo en rios pequeños puede considerarse como flujo 1D mientras que el flujo en lagos es usualmente considerado 3D.



Figure 4: a) foto instantanea de flujo (no permanente) y b) exposicion del flujo en un intervalo de tiempo [?].

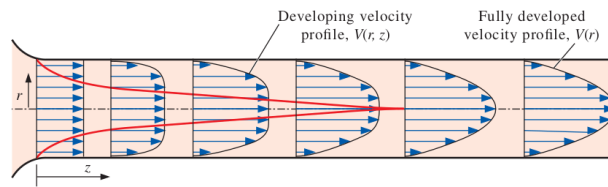


Figure 5: Perfil de velocidad 2D,  $\vec{V}(r, z)$ , a la entrada de la tubería. Este se convierte en 1D,  $\vec{V}(r)$ , a cierta distancia de la entrada [?].