

INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE FLUIDOS

ESTADOS DE LA MATERIA. Generalmente se clasifica de acuerdo a algunos de los cuatro estados en que se encuentra: sólido, líquido, gaseoso y plasma. Un sólido tiene forma y volumen definidos. Un líquido tiene un volumen definido pero no una forma definida. Un gas no tiene ni volumen ni forma definidos. El plasma consiste en núcleos atómicos y electrones libres, es un gas ionizado con igual número de cargas positivas y negativas, sólo existe a altas temperaturas ($> 2000\text{ K}$); a pesar de ser poco común en la vida cotidiana, es el estado predominante de la materia en el universo. El Sol, las estrellas, el gas de la luz en un tubo fluorescente están en estado de plasma.

Un sólido se comprime bajo la acción de fuerzas externas, pero si estas fuerzas dejan de actuar, tiende a retomar su forma y tamaño original, por esto se dice que tiene elasticidad. Según el tiempo de respuesta del cambio de la forma ante una fuerza externa o presión, la materia puede comportarse como un sólido, como un fluido u otro estado, por ejemplo plásticos, asfalto, grasa, miel, masilla, etc.

FLUIDO: Es todo material que no sea sólido y que puede ‘fluir’. Son fluidos los líquidos y los gases; aún con sus grandes diferencias su comportamiento como fluido se describe son las mismas ecuaciones básicas. La diferencia entre uno u otro está en su compresibilidad. Un fluido:

- Cambia su forma según el envase.
- Se deforma continuamente bajo fuerzas aplicadas.
- La atmósfera y el océano son fluidos.
- El 97% de nuestro cuerpo es fluido, el manto de la tierra, etc.

Para cualquier sustancia el estado líquido existe a una temperatura mayor que la del estado sólido, tiene mayor agitación térmica y las fuerzas moleculares no son suficientes para mantener a las moléculas en posiciones fijas y se pueden mover en el líquido. Lo común que tiene con los sólidos es que si actúan fuerzas externas de compresión, surgen grandes fuerzas atómicas que se resisten a la compresión del líquido. En el estado gaseoso las moléculas tienen un continuo movimiento al azar y ejercen fuerzas muy débiles unas con otras; las separaciones promedio entre las moléculas de un gas son mucho más grandes que las dimensiones de las mismas.

El estudio de la dinámica de fluidos es similar al clásico de la dinámica de sólidos usando las ecuaciones desde hace 150 años, en que se estudia el movimiento bajo la acción de fuerzas aplicadas. Se aplican los mismos principios:

1. - Conservación de la masa
2. - Conservación del momentum
3. - Conservación de la energía termodinámica

Las ecuaciones de movimiento son dinámicas y las ecuaciones de continuidad cinemática.

Cinemática: Describe el movimiento de un cuerpo sin considerar las causas que lo producen.

Dinámica: Estudia el movimiento teniendo en cuenta las causas que la producen, y las causas son las fuerzas.

Las tres ecuaciones de conservación son cinco ecuaciones diferenciales parciales con seis incógnitas. Para cerrar el sistema se agrega una sexta ecuación que es la ecuación de estado.

Composición de la atmósfera.

La atmósfera es un fluido compuesto por varios gases, además de aditivos como líquidos y sólidos en suspensión. Este fluido tiene ciertas propiedades físicas, llamado su estado, que describe su movimiento, su temperatura y su densidad. Su más importante característica es que varía su estado físico en el tiempo y en el espacio. Esas variaciones indican transformaciones de energía y flujos.

En la atmósfera coexisten partículas en los tres estados; algunos son fijos y otros ocasionales. Estudios cualitativos de la composición de la atmósfera se refieren a los gases que la forman. Las observaciones han probado que, salvo las pequeñas variaciones de los gases variables, la composición de la atmósfera seca es aproximadamente constante en todo el globo, hasta una altura de cerca de 30 Km sobre el nivel del mar; el aire está perfectamente mezclado. Son excepciones el bióxido de carbono que varía

entre 0.02 - 0.04% y el vapor del agua que es muy variable, depende fuertemente de la temperatura y puede variar entre 0 y 4%; su estudio abarca un capítulo entero de la meteorología referido a la humedad. Según datos aceptados por la Organización Meteorológica Mundial, tomados sobre la hidrosfera, la proporción en volumen de los gases constituyentes en la troposfera y estratosfera se muestra en la tabla N° 1:

Tabla N° 1. Composición de la troposfera.

Gas	Fórmula	PM	Volumen en %
nitrógeno	N ₂	28.0	78.09
oxígeno	O ₂	32.0	20.95
argón	Ar	39.94	0.93
neón	Ne	20.2	1.8 x 10 ⁻³
helio	He	4.0	5.3 x 10 ⁻⁴
kriptón	Kr	83.8	1.1 x 10 ⁻⁴
hidrógeno	H ₂	2.0	5.0 x 10 ⁻⁵
xenón	X	131.3	8.0 x 10 ⁻⁶
ozono	O ₃	48.0	1.0 x 10 ⁻⁶
yodo	I	126.9	3.5 x 10 ⁻⁹
radón	Rn	222.0	6.0 x 10 ⁻¹⁸
otros...			menos de 10 ⁻⁷
bióxido de carbono	CO ₂	44	0.02-0.04
vapor de agua	H ₂ O	18	0.0 - 4.0

Tipos de Flujos

Se distinguen dos tipos:

Laminar: El flujo es ordenado y predecible, el movimiento se produce en capas o láminas, las soluciones matemáticas son factibles. En este flujo las partículas se mueven en trayectorias independientes de las partículas de capas adyacentes.

Turbulento: El movimiento de las partículas individuales es aleatorio e impredecible. En el que comúnmente se produce (Figuras).

Flujo no viscoso: Es aquel para el cual la fuerza de fricción interna es despreciable en comparación con otras fuerzas. Un fluido que presenta fricción interna muestra una resistencia a su movimiento.

- Viscosidad: Es una medida de la resistencia del fluido a su movimiento.
- Existen los fluidos viscosos, aquí la fricción interna es importante; la viscosidad caracteriza la tensión interna en un fluido.

En la figura se muestra el comportamiento de fluidos comunes:

⇒ Disminución de la resistencia interna al flujo ⇒			
Viscosos		No viscosos	
miel	sangre	agua	aire
pasta dental	← aceite →		

Ondas, vórtices e inestabilidades

Las ondas y vórtices son un caso especial de flujo que caen dentro de los laminares. Son un paso de transición entre los sistemas laminar y turbulento. La transición es un punto de inestabilidad del flujo medio inicial. La inestabilidad puede conducir a crecimiento de ondas, rompimiento de éstas y a turbulencia caótica y al azar.

Hipótesis del Continuo

La teoría de la dinámica de los fluidos puede ser desarrollada desde dos puntos de vista.

- El microscópico: Aquí la estructura molecular del medio es tenida en cuenta explícitamente. Ejemplos son la teoría cinética de los gases y la mecánica estadística, que tienen un enfoque estadístico.
- El macroscópico: En este enfoque no se toma en cuenta explícitamente la estructura molecular del medio, solo se consideran las propiedades gruesas de la materia. Las propiedades físicas del medio se miden directamente por los instrumentos.

Las moléculas de un gas (y aún de los líquidos) están separadas por inmensas regiones vacías cuyas dimensiones lineales son mucho más grandes que el tamaño de las moléculas mismas. La masa del material está concentrada en el núcleo de los átomos que componen la sustancia, y no está uniformemente expandida en el volumen ocupado por ésta. La propiedad del fluido (T , $\bar{v}$, p ,

etc.) tiene una distribución no uniforme cuando se ve el fluido desde la pequeña escala a nivel atómico. Así, la materia no es continua.

La mecánica de fluidos normalmente está relacionada con las propiedades gruesas del medio, sin embargo suponemos que el comportamiento macroscópico de la atmósfera (fluido) es el mismo como si fuera una estructura perfectamente continua.

Las cantidades físicas tales como masa, momentum, temperatura, velocidad, etc., asociados con la materia en un pequeño volumen dado puede ser considerado como si estuvieran uniformemente expandidas sobre ese volumen en vez de concentrado en una fracción del mismo. Esto se llama “**Hipótesis del Continuo**”. Esta hipótesis significa que es posible asignar valores definidos de las propiedades del fluido a un punto, y que los valores de esas propiedades son funciones continuas de la posición y del tiempo.

DEFINICIÓN

Parcela de fluido: Es un pequeño volumen de fluido en el que se consideran los valores de sus propiedades físicas.

Por ejemplo: Un volumen de 10^{-15} m^3 contiene del orden de 3×10^{10} moléculas de aire en condiciones normales.

DIFERENCIALES Y DERIVADAS.

Juegan un rol muy importante en Física, en Meteorología y en Oceanografía. Se da por conocida la definición de derivada,

$$y = f(x) \Rightarrow f'(x) = \frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Para una función de dos variables independientes $z = z(x,y)$, si la variable independiente x cambia un $\Delta x = dx$ para y fijo:

$$(dz)_y = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y dx$$

Si cambia y y x es constante:

$$(dz)_x = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x dy$$

Si cambian simultáneamente x e y , se tiene diferencial total:

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x dy$$

Para una función de tres variables $w = w(x,y,z)$, la diferencial total de w es:

$$dw = \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{y,z} dx + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{x,z} dy + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)_{x,y} dz$$

Estas diferenciales juegan un rol importante en la mecánica de fluidos por su estrecha relación con la derivada total, que luego definiremos.

Para una función $F = F(x,y,z,t)$ que puede representar una propiedad del fluido (T, q, v , etc). Existe una diferencia fundamental entre las derivadas dF / dt y $\partial F / \partial t$ en su significado físico.

$\partial F / \partial t$ es realmente $\left(\frac{\partial F}{\partial t} \right)_{x,y,z}$, la tasa de cambio en un punto fijo en el espacio. Puede ser una medición hecha por un instrumento fijo estacionario.

Supongamos que por la hipótesis del continuo, F tiene un valor definido en cada punto (x, y, z) del fluido. Una parcela de fluido que está en algún punto (x_0, y_0, z_0) en el tiempo t_0 y tiene asociado el valor $F = F(x_0, y_0, z_0, t_0)$. Supongamos ahora que la parcela se mueve a un punto nuevo $x_1 = x_0 + dx, y_1 = y_0 + dy, z_1 = z_0 + dz$, y el tiempo cambia a $t_1 = t_0 + dt$ (ver fig II-4). Queremos saber que pasa con F de la parcela durante el intervalo de tiempo dt . La parcela cambia de posición con el tiempo, y no sólo F , sino que también su posición es función del tiempo, así $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ y $F = F[x(t), y(t), z(t), t]$.

$z(t)$]. Imagínese que usted se hace muy pequeño y está dentro de la parcela midiendo con un miniminisor, notará un cambio dF en la parcela, que se debe a la superposición de dos efectos:

1. La parcela se mueve desde su posición original donde $F = F(x_0, y_0, z_0, t_0)$ a una nueva posición donde $F = F(x_1, y_1, z_1, t_1)$.
2. El valor local de F en la nueva posición cambia de $F = F(x_1, y_1, z_1, t_0)$ a $F = F(x_1, y_1, z_1, t_1)$.

Por lo tanto el cambio en F que sufre la parcela se debe a que la parcela se mueve a través del campo F cuyos valores cambian en el tiempo. Por consiguiente la variación dF experimentada por la parcela es

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy + \frac{\partial F}{\partial z} dz$$

Dividiendo por dt y ordenando:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{dy}{dt} \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{dz}{dt} \frac{\partial F}{\partial z}$$

Aquí dF/dt es la tasa de cambio de la propiedad F experimentada por la parcela, se llama la derivada total (otros nombres que se usan son derivada material, individual, sustancial).

Si se hace la descripción de la propiedad F de una parcela que se mueve, hablamos de una descripción Lagrangiana del movimiento y se usa dF/dt . Si se describe lo que sucede a la cantidad F en un punto fijo del espacio, hablamos del método Euleriano de describir el movimiento, y se usa $\partial F/\partial t$. Son dos descripciones importantes y fundamentales en la mecánica de fluidos:

dF/dt significa la tasa de cambio de F siguiendo a la parcela de fluido o **Lagrangiana**.

$\partial F/\partial t$ significa la tasa de cambio de F en un punto fijo en el espacio o **Euleriana**.

La posición de una parcela es función del tiempo, así $x = x(t)$ y dx/dt es la tasa de cambio de la posición de la parcela en dirección x , por lo tanto es la velocidad con la cual la parcela se mueve en dirección x . Lo mismo vale para y y z . En forma estándar se usa en mecánica de fluidos las componentes de la velocidad como (u, v, w) . En meteorología se adopta el eje x positivo hacia el este, el eje y positivo hacia el norte y el eje z positivo hacia arriba (llamado vertical local) (Figura II-5).

Para la velocidad se escribe:

$u = \frac{dx}{dt}$ positiva hacia el este, significa viento del oeste, componente zonal.

$v = \frac{dy}{dt}$ positiva hacia el norte, viento del sur, componente meridional.

$w = \frac{dz}{dt}$ positiva hacia arriba, significa ascenso, componente vertical.

NOTA: En meteorología, la dirección del viento es desde donde sopla.

Con esta notación, la derivada total se escribe ahora como:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

Las componentes de la velocidad son funciones de x, y, z y t . El término $\partial/\partial t$ se llama derivada local o tendencia. Los términos $u\partial/\partial x, v\partial/\partial y, w\partial/\partial z$ se llaman términos advectivos. Advección es el transporte de una propiedad atmosférica sólo por el movimiento de masa de la atmósfera, es decir por el viento.

Si $\partial F/\partial t = 0$, esto es F permanece constante con el tiempo (pero puede cambiar en el espacio) se habla de campo en estado estacionario, y $F = F(x, y, z)$ solamente.

$\partial F/\partial t = 0$ no significa que $dF/dt = 0$, excepto en casos especiales.

Si $dF/dt = 0$, no necesariamente significa que $\partial F/\partial t = 0$, ni que F sea constante en espacio y el tiempo.

Si $dF/dt = 0$, la propiedad F se llama conservativa, y los cambios se deben sólo a la advección de la propiedad F por el movimiento del fluido.

Con $dF/dt = 0$, se tiene:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -u \frac{\partial F}{\partial x} - v \frac{\partial F}{\partial y} - w \frac{\partial F}{\partial z}$$

Significa que los cambios locales son producidos solo por la advección.

Como $\vec{v} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$ y $\nabla F = \frac{\partial F}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial F}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial F}{\partial z}\hat{k}$

Se puede escribir

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla F$$

Los términos $\vec{v} \cdot \nabla F$ se llaman advectivos.

Más generalmente, si $\vec{F}$ es una función vectorial $\vec{G}$, se tiene:

$$\frac{d\vec{G}}{dt} = \frac{\partial \vec{G}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{G}$$