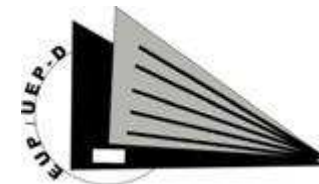
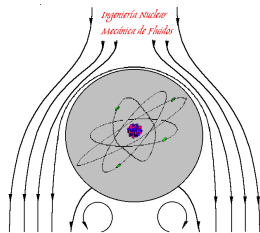


eman ta zabal zazu

# Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos



## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### INTRODUCCIÓN

La **Cinemática de fluidos** es la parte de la Mecánica de Fluidos que estudia las propiedades geométricas del movimiento de los fluidos. El estudio del movimiento de un fluido en el interior de un contorno (tubería o canal) o alrededor del mismo (barco, ala de avión,...) es el problema central de la Mecánica de Fluidos.

La resolución de los fenómenos de movimiento de fluidos es muy interesante en su aplicación técnica puesto que se aplica a grandes obras y proyectos como: oleoductos, redes de distribución de agua, canalizaciones de aire, engrase de máquinas, flujo del agua y del vapor en una central térmica, resistencia de aviones y barcos, bombas, turbinas, maquinaria neumática, calefacción, etc...

Por otra parte, el estudio del flujo o movimiento de fluidos es altamente complicado, y las leyes fundamentales del movimiento no son completamente conocidas por lo que se necesita recurrir a la experimentación.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de flúidos

### INTRODUCCIÓN

Las técnicas básicas para el análisis de flujos son:

- Análisis integral a gran escala, donde se estudia el movimiento de una porción de fluido (volumen de control).
- Análisis diferencial o a escala pequeña, en donde se estudia el movimiento de una partícula de fluido.
- Análisis dimensional o semejanza.

En el estudio de la Dinámica de fluidos habrá que tener en cuenta también los siguientes principios:

- *Principio de conservación de la masa*, que dará lugar a la ecuación de continuidad.
- *Principio de conservación de la energía*, a partir de la cual se establecerá la ecuación de Bernouilli.
- *Principio de conservación de la cantidad de movimiento*, que da lugar a la ecuación del momento lineal o angular.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### FLUJO. TIPOS DE FLUJO.

Se llama **flujo** al movimiento de un fluido. En la aproximación a un fluido ideal ( $\mu=0$ ,  $\rho=\text{cte}$ ), que no tiene fricción y es no viscoso, se pueden contemplar los siguientes tipos de flujo.

En función de las componentes de la velocidad del flujo:

*Flujo unidimensional:* Es aquél en que se desprecian las variaciones de velocidad, presión, etc. transversales a la dirección principal del flujo. Tiene lugar cuando la velocidad es la misma en todos los puntos del fluido en una sección recta de conducto. Ejemplos: flujo a través de una tubería.

*Flujo bidimensional:* En este tipo de flujo se supone que todas las partículas siguen trayectorias idénticas en planos paralelos. No hay cambios de las variables del flujo en dirección normal a dichos planos. Se estudian en dos dimensiones. Ejemplos: estudio de vertederos, compuertas.

*Flujo tridimensional:* Es el flujo más general, en el que las componentes de la velocidad en direcciones perpendiculares entre sí son función de las coordenadas del espacio y del tiempo. Ejemplos: tuberías, curvas, codos, flujo por el interior de bombas y turbinas.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### FLUJO. TIPOS DE FLUJO.

En función de las fuerzas viscosas:

*Flujo rotacional:* Existen fuerzas viscosas que hacen que el fluido rote. Ejemplos: líquidos viscosos en depósitos que están girando, huracán, flujos viscosos en tuberías.

*Flujo irrotacional:* No hay esfuerzos cortantes que hacen que el fluido rote. Es propio de los fluidos ideales, en los que la viscosidad es nula ( $\mu=0$ ), con lo que no se pueden transmitir pares de fuerzas. Cada elemento de fluido tiene una velocidad angular nula alrededor de su centro de masas.

En función del intercambio de la cantidad de movimiento entre moléculas:

*Flujo laminar.* Las trayectorias del fluido se mueven a lo largo de trayectorias lisas en capas o láminas, deslizándose una capa sobre la adyacente, sin intercambio de cantidad de movimiento y cumpliéndose la ley de Newton de la viscosidad.

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **FLUJO. TIPOS DE FLUJO.**

Este flujo no es estable en las situaciones en las que se combinan una baja viscosidad, alta velocidad, grandes avenidas de fluido. En esos casos se descompone dando lugar al flujo turbulento.

*Flujo turbulento.* Es el más frecuente en las aplicaciones prácticas. Las partículas de fluido se mueven siguiendo trayectorias irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción de fluido a otra. Las partículas de fluido pueden variar en tamaño, desde uno muy pequeño, hasta uno muy grande. Se puede establecer una ley de esfuerzos cortantes derivados de ese intercambio de cantidad de movimiento de forma similar a la viscosidad, y que se conoce como viscosidad Eddy o de remolino, de la forma:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy}$$

Estos esfuerzos cortantes provocan irreversibilidades y pérdidas.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **FLUJO. TIPOS DE FLUJO.**

En función de la reversibilidad del flujo:

*Flujo reversible*: El flujo cuyo sentido se puede invertir sin realizar gastos de energía.

*Flujo irreversible*: Es aquel flujo en el que se necesita un gasto de energía para invertir el movimiento del flujo. El problema fundamental en este caso es calcular la pérdida de energía.

En función de la variación de la velocidad del flujo:

*Flujo uniforme*: Cuando el vector velocidad en cualquier punto es idéntico (en magnitud y dirección) en un instante determinado. Ejemplo: Líquido que fluye a través de una tubería de sección constante.

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0 = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial z}$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### FLUJO. TIPOS DE FLUJO.

*Flujo no uniforme:* El vector velocidad varía en un instante dado de un punto a otro. Ejemplo: Líquido que fluye a través de una tubería de sección variable, o una tubería curvada.

$$\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0$$

*Flujo permanente:* La velocidad en un punto cualquiera es constante en el tiempo. La velocidad de las sucesivas partículas que ocupan un punto en los sucesivos instantes es la misma. Esa continuidad en el tiempo en un punto se puede aplicar también al resto de las variables que definen el estado del fluido en ese punto. Ejemplo: Bombeo de agua por una tubería de caudal constante.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0$$

*Flujo no permanente:* Cuando las condiciones en un punto cambian con el tiempo. Ejemplo: Bombeo de agua en una tubería de caudal creciente.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$$



## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **FLUJO. TIPOS DE FLUJO.**

*En función de la compresibilidad del fluido:*

*Flujo incompresible:* en el que las variaciones de densidad son insignificantes.

*Flujo compresible:* en el que las variaciones de densidad no se pueden despreciar, por ejemplo en gases con velocidades mucho más pequeñas que las del sonido, o en líquidos sometidos a ondas de choque.

Otros criterios:

*Flujo adiabático:* en el que no hay transferencia de calor del fluido al exterior del mismo.

*Flujo isoentrópico:* flujo adiabático y a la vez reversible.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### VARIABLES DE EULER Y LAGRANGE

Las diferentes partes de un fluido en movimiento tienen distintas velocidades y aceleraciones. Entonces, el campo del movimiento deberá ser descrito en términos de velocidad y aceleración de las partículas. Hay dos métodos para describir el movimiento de un grupo de partículas en un medio continuo: Lagrange y Euler.

En el **método de Lagrange** las coordenadas de las partículas en movimiento son representadas en función del tiempo. Consiste en seguir el movimiento de cada partícula de fluido, de forma análoga a como se hace en Mecánica del Sólido Rígido. En este método, las coordenadas de un punto M de la masa fluida son función del tiempo y de su posición inicial.

$$x = f_x(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$y = f_y(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$z = f_z(x_0, y_0, z_0, t)$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### VARIABLES DE EULER Y LAGRANGE

Cuando consideramos las partículas de un medio continuo, el enfoque lagrangiano se hace extremadamente incómodo, ya que la descripción del campo de flujo requiere tres veces el número de parámetros utilizados en las ecuaciones anteriores. Además, debido a la naturaleza deformable del medio fluido, en general no interesa la historia detallada de una partícula individual, sino más bien la interrelación de las propiedades del flujo en los puntos individuales del campo.

El **método de Euler** consiste en considerar un punto fijo en el espacio y estudiar, en función del tiempo, lo que pasa en ese punto. Se determinará en función del tiempo, la velocidad de las partículas fluidas que pasan sucesivamente por ese punto. La velocidad estará dada por sus tres componentes:

$$\begin{aligned}u &= f_u(x, y, z, t) \\v &= f_v(x, y, z, t) \\w &= f_w(x, y, z, t)\end{aligned}$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **VARIABLES DE EULER Y LAGRANGE**

La diferencia entre los dos métodos se encuentra en que en Lagrange, las coordenadas de las partículas se representan en función del tiempo, mientras en Euler, son las velocidades de las partículas en cada punto las que están dadas en función del tiempo. Generalmente, el ingeniero necesita la información ofrecida por el análisis de Euler, mediante la que se llega a ecuaciones integrales del movimiento dentro del llamado **Volumen de Control**.

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### LÍNEA DE CORRIENTE; TUBO DE CORRIENTE; TRAYECTORIA.

La **línea de corriente** se define como la curva tangente a los vectores de velocidad en cada punto y coincide, en régimen permanente de flujo con el camino que recorre una partícula de fluido, que se conoce como **trayectoria**.

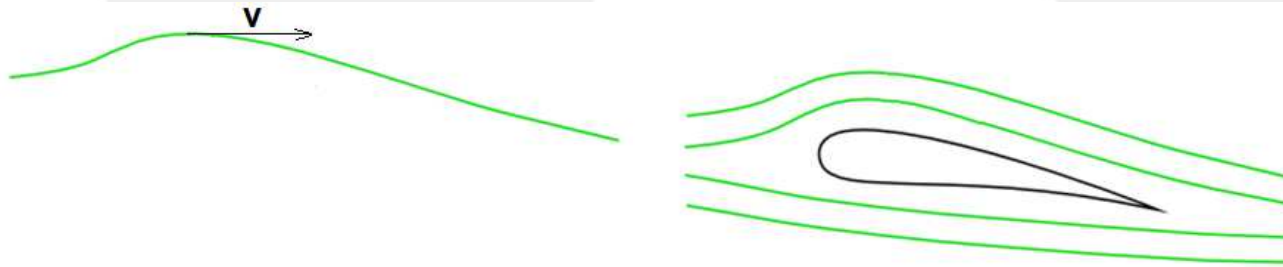


Fig. 7.1 Líneas de corriente

El **tubo de corriente** es un tubo imaginario o real cuya pared lateral está formada por líneas de corriente. Un ejemplo de tubo de corriente puede ser una tubería, puesto que las paredes que forman la tubería siempre serán tangentes a la velocidad del flujo que alberga, como se muestra en la figura.

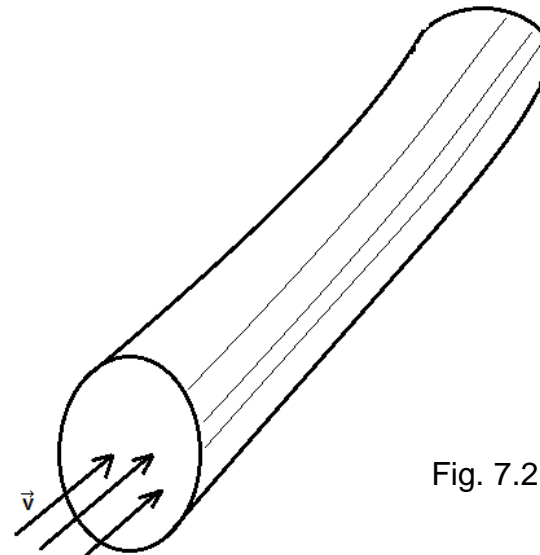


Fig. 7.2 Tubo de corriente

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

# ACELERACIÓN DE UNA PARTÍCULA FLUIDA. ACELERACIÓN LOCAL Y CONVECTIVA

Si suponemos una conducción por la que circula un fluido ideal en el que dentro de una línea de corriente se tiene un punto A (x, y, z) en el que las componentes de la velocidad se pueden representar como:

$$\vec{v} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k}$$

$$v_x = f_1(x, y, z, t)$$

$$v_y = f_2(x, y, z, t)$$

$$v_z = f_3(x, y, z, t)$$

Aceleración local

Aceleración convectiva

En un instante t determinado, estas ecuaciones nos dan la velocidad del fluido en cada punto del espacio. Suponiendo que las funciones de la velocidad en cada punto son continuas, así como su derivada se tiene:

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

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

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



$$\begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= \frac{\partial v_x}{\partial t} + \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z \\ \frac{dv_y}{dt} &= \frac{\partial v_y}{\partial t} + \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z \\ \frac{dv_z}{dt} &= \frac{\partial v_z}{\partial t} + \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z \end{aligned}$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

# ACELERACIÓN DE UNA PARTÍCULA FLUIDA. ACELERACIÓN LOCAL Y CONVECTIVA

ya que se cumple que:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = v_x \quad \frac{\partial y}{\partial t} = v_y \quad \frac{\partial z}{\partial t} = v_z$$

Estas ecuaciones nos proporcionan las componentes de la aceleración de una partícula fluida en cada punto y en cada instante. Estas ecuaciones para el caso de régimen permanente, en donde las derivadas de cada componente de la velocidad son nulas, quedan como:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

# ACELERACIÓN DE UNA PARTÍCULA FLUIDA. ACELERACIÓN LOCAL Y CONVECTIVA

**Aceleración local:** es la variación de la velocidad en la posición ocupada por la partícula con el paso del tiempo, no depende del cambio de posición de la partícula.

**Aceleración convectiva:** es la aceleración debida al cambio de posición, con lo que la velocidad sufrirá variaciones en los diversos puntos del campo distintos de un instante a otro.



## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **FLUJO VOLUMÉTRICO Y FLUJO MÁSICO.**

Como se ha mencionado antes, se llama flujo al movimiento de un fluido, siendo:

*Flujo volumétrico:* volumen de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo (Caudal,  $Q$ ).

*Flujo másico:* masa de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo ( $m$ ).

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A = \rho \cdot Q$$

## Tema 7: Fundamentos del movimiento de fluidos

### **PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA LOS MEDIOS CONTINUOS: SISTEMAS Y VOLUMENES DE CONTROL.**

El concepto de **sistema** se refiere a una masa definida de material diferenciada del resto de materia que la rodea denominada entorno o alrededores. Las fronteras de un sistema constituyen una superficie cerrada que puede variar con el tiempo, siempre y cuando contengan la misma masa en su interior. Esta ley de conservación de la masa se traduce en que dentro de un sistema:

$$\frac{dm}{dt} \Big|_{S_c} = 0$$

Un **volumen de control** se refiere a una región en el espacio a través de cuyas fronteras puede entrar y salir continuamente fluido, pero cuyo volumen permanece constante en el tiempo. La frontera de un volumen de control es su **superficie de control**.

$$\frac{dV_c}{dt} = 0$$