Tema 3

INTRODUCCIÓN A LA HIDRODINÁMICA

Introducción

El objetivo de este capítulo es hacer un estudio preliminar del movimiento de los fluidos, para ello se enfocará el estudio al flujo de un fluido ideal (no viscoso) e incompresible.
Los conceptos emitidos y herramientas estudiadas aquí servirán de base para el resto del estudio de los fluidos en movimiento.

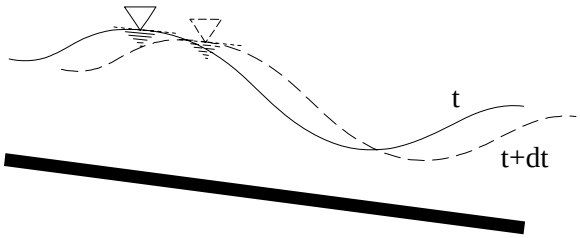
Descripción de los movimientos de un fluido

Para describir los movimientos de un fluido se usa generalmente la descripción de campo o Euleriana, la cual se basa en el estudio de las propiedades del flujo que pasa por un determinado lugar, tal como la velocidad ($\vec{V}$), aceleración ($\vec{a}$), dirección, presión, densidad etc. El lugar en cuestión puede ser un simple punto o un espacio más amplio, si se quiere hacer un estudio de campo del flujo que lo atraviesa.
En esta descripción del movimiento de los fluidos, las propiedades del flujo son funciones del espacio y del tiempo.
Tomemos por ejemplo la velocidad, esta se puede expresar en coordenadas cartesianas como: $\vec{V} = V(x, y, z, t)$, donde la región de flujo considerada se llama campo de flujo.

Aquí se puede realizar una pequeña clasificación de los flujos.

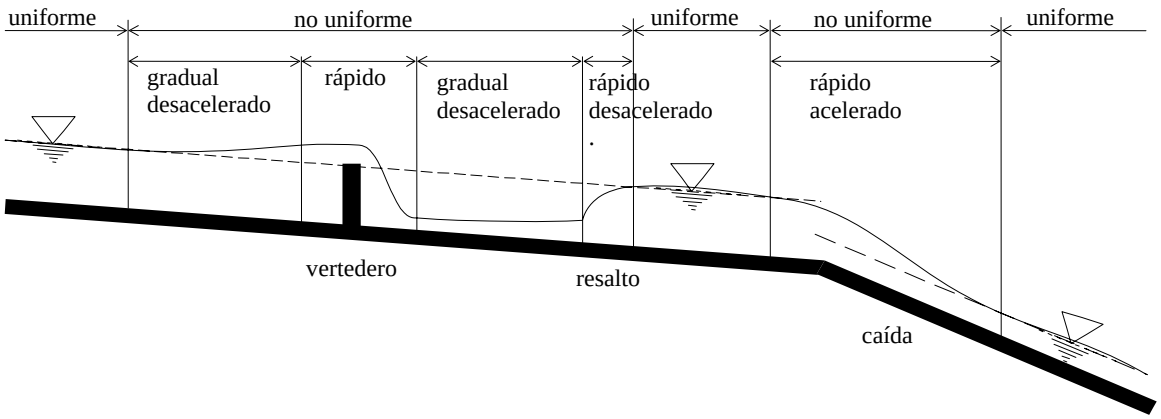
Según la variación del flujo en el tiempo

Si el flujo es variable en el tiempo se dirá que este es **transitorio** o **no estacionario.**
En cambio cuando este no varía con el tiempo se dirá que este es **estable** o **estacionario.**
En este último caso las variables del flujo dependen solo de las coordenadas espaciales, por ejemplo la velocidad sería: $\vec{V} = V(x, y, z)$, lo cual nos indica que los cambios respecto al tiempo son nulos: $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$. Y esto para todas las propiedades del flujo. La figura muestra un ejemplo de un flujo no estacionario en un canal abierto.



Según la variación del flujo en el espacio

Cuando no existe cambio de las propiedades en el espacio se dirá que el flujo es **uniforme**, y en caso contrario el flujo será **no uniforme**.
En el caso del flujo uniforme las variables del flujo dependen solo de las coordenadas temporales, por ejemplo la velocidad se expresará como $\vec{V} = V(t)$, lo cual indica que las variaciones en el espacio son cero: $\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\partial V}{\partial z} = 0$.
En los casos reales es difícil conseguir flujos estrictamente uniformes, sin embargo en muchos casos prácticos de la mecánica de fluidos se pueden simplificar los fenómenos considerando que el flujo es uniforme.
En la figura siguiente se muestra un ejemplo de flujo en un canal abierto, en donde el flujo puede considerarse como uniforme o como no uniforme según el comportamiento que presenta.



Según el número de variables espaciales a considerar

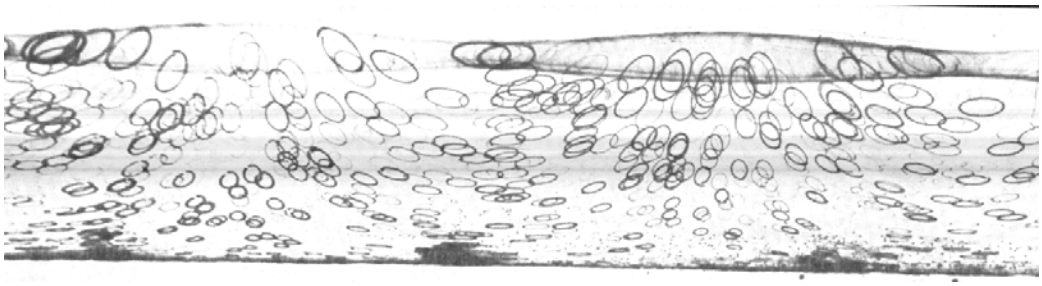
En esta parte podemos clasificar el flujo como unidimensional, bidimensional o tridimensional.
En la descripción Euleriana el flujo es por defecto **tridimensional**, ya que depende de tres variables espaciales, en coordenadas cartesianas *x, y, z*.
Sin embargo en muchos casos prácticos es posible simplificar la representación del flujo y considerar solo dos componentes espaciales (*x, y* o *x, z*) en cuyo caso el flujo se denominará **bidimensional**. Esto se puede hacer cuando las propiedades (o propiedad en estudio) del flujo cambian preponderantemente en solo dos direcciones, siendo practicante constante en la otra. Por ejemplo en el caso de un flujo plano en donde el vector velocidad depende de solo dos coordenadas espaciales.
En muchos casos es incluso posible el considerar solo una componente espacial para estudiar el flujo (*x*), en cuyo caso éste se denominará **unidimensional**. Esto es el caso del flujo en una tubería, en donde el vector velocidad se puede representar con una sola componente espacial.

Líneas de trayectoria, líneas de traza y líneas de corriente.

Para ayudarnos en la descripción del comportamiento del movimiento de un fluido se pueden utilizar diversas herramientas como lo son las líneas de flujo, de las cuales podemos mencionar tres tipos.

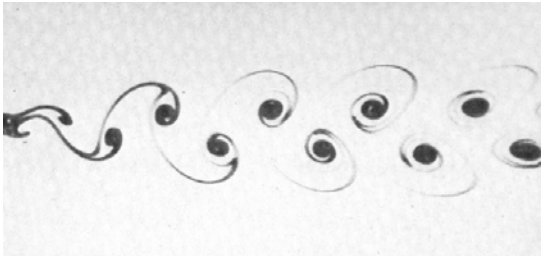
Línea de trayectoria

Es el lugar geométrico de los puntos recorridos por una partícula que viaja en el campo de flujo.
La figura muestra un ejemplo de líneas de trayectoria de partículas debajo de una ola en un tanque de agua.



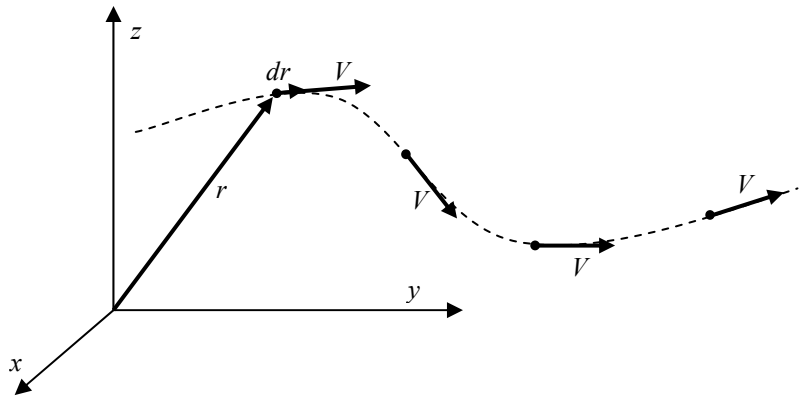
Línea de traza

Una línea de traza se define como una línea instantánea cuyos puntos están ocupados por todas las partículas que se originan un punto específico del campo de flujo.
La figura muestra el ejemplo de traza para un flujo inestable alrededor de un cilindro.



Línea de corriente

Es una línea de flujo en donde el vector velocidad de cada partícula que ocupa un punto en la línea de corriente es tangente a dicha línea de corriente, tal como se muestra en la figura.



La línea de corriente se puede expresar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$\vec{V} \times d\vec{r} = 0$$

Donde V y dr son los vectores de velocidad y cambio de posición, los cuales al ser paralelos su producto vectorial es cero.

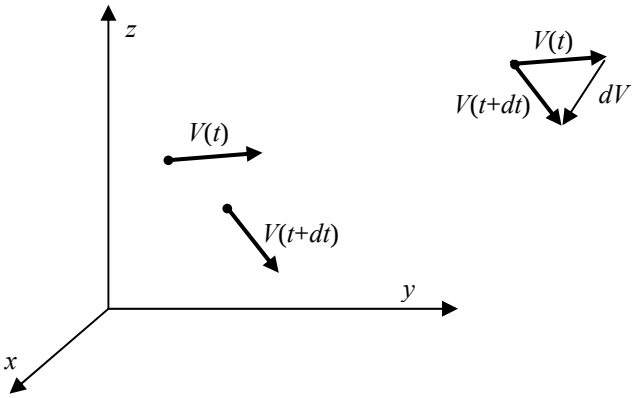
Tubo de corriente

Es un tubo cuyas paredes están formadas por líneas de corriente. Esto representa un tubo de donde las partículas no pueden salir ya que la velocidad en las paredes es paralela a ellas.
La noción del tubo de corriente tiene un particular interés en mecánica de fluidos ya que con el se pueden representar casos prácticos, como por ejemplo el flujo en una tubería, de la cual no pueden salir el flujo, por lo tanto se puede considerar como un tubo de corriente.

En un flujo estacionario, las líneas de trayectoria, de traza y de corriente coinciden. Esto ya que todas las partículas que pasan por un punto dado van a describir la misma trayectoria, y la velocidad en la línea formada tiene siempre una dirección paralela a esta.

Aceleración

La aceleración de una partícula de fluido se obtiene considerando una partícula determinada, como se muestra en la figura:
En donde $V(t)$ es la velocidad en el instante t y $V(t+dt)$ es la velocidad en el tiempo $t+dt$.
La definición de la aceleración es:



$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

Donde el vector velocidad depende del tiempo y de las tres coordenadas espaciales, por lo tanto su derivada se escribe:

$$d\vec{V} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial x}dx + \frac{\partial \vec{V}}{\partial y}dy + \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}dz + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}dt$$

Por lo tanto la aceleración será:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}\frac{dz}{dt} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$$

Donde se pueden expresar las derivadas espaciales como componentes de la velocidad:

$$\frac{dx}{dt} = u \qquad \frac{dy}{dt} = v \qquad \frac{dz}{dt} = w$$

Con lo cual la aceleración se escribe como:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial x}u + \frac{\partial \vec{V}}{\partial y}v + \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}w + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$$

Esta ecuación se puede expresar en función de sus coordenadas como:

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

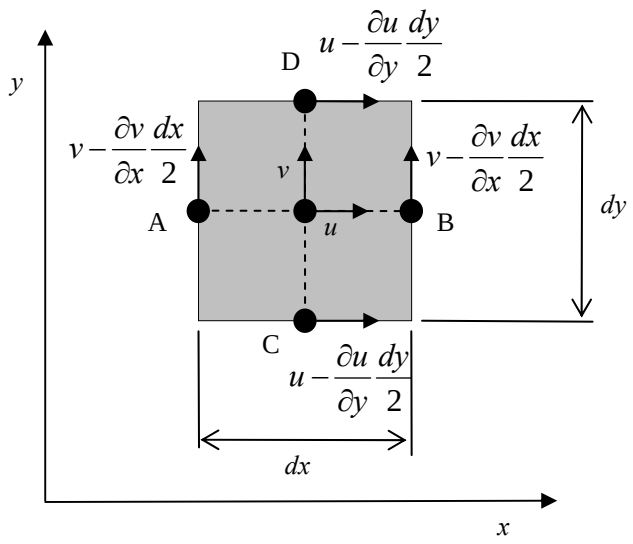
$$a_y = \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}$$

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

Al término de la derivada respecto del tiempo se le denomina aceleración local, mientras que las derivadas espaciales forman la aceleración convectiva.
Las ecuaciones anteriores representan la aceleración en el marco de referencia del observador. Si el marco del observador se está moviendo se debe tomar en cuanta las aceleraciones a las cuales este puede estar sometido.

Velocidad angular y vorticidad

En el movimiento del fluido las partículas de este pueden girar y deformarse.
Consideremos una pequeña partícula de fluido que ocupa un volumen infinitesimal, donde la cara *xy* es como se muestra en la figura:



Las velocidades angulares de los segmentos AB y CD, alrededor del eje *z*, tomando en positivo el sentido contrario a las manecillas del reloj, son respectivamente:

$$\Omega_{AB} = \frac{v_B - v_A}{dx} = \frac{\left(v + \frac{\partial v}{\partial x}\frac{dx}{2} - \left(v + \frac{\partial v}{\partial x}\frac{dx}{2}\right)\right)}{dx} = \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\Omega_{CD} = \frac{u_D - u_C}{dy} = -\frac{\left(u + \frac{\partial u}{\partial y}\frac{dy}{2} - \left(u + \frac{\partial u}{\partial y}\frac{dy}{2}\right)\right)}{dx} = -\frac{\partial u}{\partial y}$$

La velocidad angular de la partícula alrededor del eje será el promedio de las velocidades angulares del segmento

$$\Omega_z = \frac{\left(\Omega_{AB} + \Omega_{CD}\right)}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

Para las cara *xz* y *yz* las velocidades angulares serán respectivamente:

$$\Omega_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right)$$

$$\Omega_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

Es común definir la verticidad (ω) como el doble de la velocidad angular, así se tiene:

$$\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \qquad \omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \qquad \omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Cuando la vorticidad es cero se dice que el fluido es **irrotacional**, esto significa que se trata de un flujo en donde solo hay movimientos de traslación. Este tipo particular de flujo suele ser importante en el estudio de muchos casos prácticos, tales como flujo alrededor de un ala, de un pilar, en una tubería, etc.

En cuanto a la deformación de una partícula esta se puede definir en el plano *xy* como el cambio de ángulo que forma el segmento AB con el segmento CD, es decir:

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2}\left(\Omega_{AB} - \Omega_{CD}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right);$$

Y se puede definir para los planos *xz* y *yz* como:

$$\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}\right); \quad \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

También puede existir una deformación por estiramiento o compresión en una dirección dada:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{u_B - u_A}{dx} = \frac{\left[u + \frac{\partial u}{\partial x}\frac{dx}{2} - \left(u - \frac{\partial u}{\partial x}\frac{dx}{2}\right)\right]}{dx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}$$

La Ecuación de continuidad

Definición de caudal

El caudal *Q* es el volumen de fluido que pasa a través de una sección transversal por unidad de tiempo.

Si consideramos entonces un elemento diferencial de fluido con sección transversal igual a *dA*, el caudal se puede expresar como:

$$dQ = VdA$$

Por lo tanto si integramos de ambos lados obtendremos el caudal para una sección de área cualquiera:

$$Q = \int VdA$$

Siendo $\overline{V}$ la velocidad media del fluido en la sección, el caudal se puede calcular como:

$$Q = \overline{V}dA$$

Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad, o también llamada conservación de masa, aplicada a una línea de corriente expresa que:

La masa que entra al tubo infinitesimal debe ser igual a la masa que sale del tubo infinitesimal.

Si analizamos esta formulación esto nos indica que:

$$\rho VdA = \text{constante}$$

Cuando el fluido es incompresible, ρ es constante, y esta ecuación se puede simplificar a:

$$dQ = VdA = \text{constante}$$

Esta expresión se puede entonces generalizar a un tubo de corriente integrando la expresión anterior:

$$Q = \int VdA = \overline{V}A = \text{constante}$$

En términos prácticos se puede usar la expresión, entre dos puntos sobre un tubo de corriente:

$$Q_1 = Q_2$$

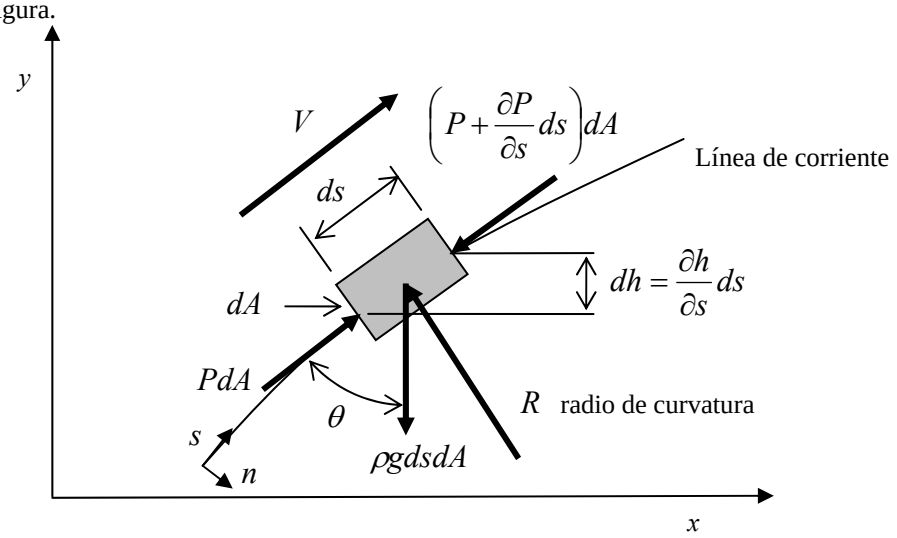
$$\overline{V}_1 A_1 = \overline{V}_2 A_2$$

La Ecuación de Bernoulli

Esta es una de las ecuaciones más utilizadas para aplicaciones de flujo de fluidos.

Primera deducción, a partir de la segunda ley de Newton.

Esta basada en la aplicación de la segunda ley de Newton a una partícula que viaja sobre una línea de corriente tal como se muestra en la figura.



La sumatoria de las fuerzas en la dirección del movimiento de la partícula, suponiendo que los esfuerzos viscosos son insignificantes (1er supuesto), es:

$$PdA - \left(P + \frac{\partial P}{\partial s} ds\right) dA - \rho g ds dA \cos\theta = \rho ds dA a_s$$

Donde a_s es la aceleración de la partícula a lo largo de la línea de corriente (2do supuesto), en la dirección *s*, con un marco de referencia inercial (3er supuesto). Esta viene dada por:

$$a_s = V\frac{\partial V}{\partial s} + \frac{\partial V}{\partial t}$$

Suponiendo que el flujo es estable se tiene $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ (4to supuesto)

Se tiene también que:

$$dh = ds\cos\theta = \frac{\partial h}{\partial s} ds$$

Por lo cual podemos deducir que:

$$\cos\theta = \frac{\partial h}{\partial s}$$

Dividiendo la ecuación entre $dsdA$

$$\frac{PdA}{dsdA}-\left(P+\frac{\partial P}{\partial s}ds\right)\frac{dA}{dsdA}-\frac{\rho gdsdA}{dsdA}\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{\rho dsdA}{dsdA}V\frac{\partial V}{\partial s}$$

$$\frac{P}{ds}-P\frac{1}{ds}-\frac{\partial P}{\partial s}\frac{1}{ds}ds-\rho g\frac{\partial h}{\partial s}=\rho V\frac{\partial V}{\partial s}$$

$$-\frac{\partial P}{\partial s}-\rho g\frac{\partial h}{\partial s}=\rho V\frac{\partial V}{\partial s}$$

Si consideramos que la densidad es constante (5to supuesto), lo que supone un flujo incompresible, y tomando en cuenta que:

$$V\frac{\partial V}{\partial s}=\frac{\partial\left(V^2/2\right)}{\partial s}$$

Se puede escribir la ecuación como:

$$\rho\frac{\partial\left(V^2/2\right)}{\partial s}+\frac{\partial P}{\partial s}+\rho g\frac{\partial h}{\partial s}=0$$

$$\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{V^2}{2}+\frac{P}{\rho}+gh\right)=0$$

Esta última ecuación se satisface si a lo largo de una línea de corriente:

$$\frac{V^2}{2}+\frac{P}{\rho}+gh=\text{constante}$$

O entre dos puntos sobre una misma línea de corriente, obtenemos la conocida **ecuación de Bernoulli**:

$$\frac{V_1^2}{2}+\frac{P_1}{\rho}+gh_1=\frac{V_2^2}{2}+\frac{P_2}{\rho}+gh_2$$

Esta ecuación muy utilizada en la mecánica de fluidos, permite, a pesar de su simplicidad, entender muchos fenómenos que se presentan en los fluidos, y se puede aplicar también a un tubo de corriente.
Es común expresar la ecuación de Bernoulli dividiendo todos sus términos por la gravedad:

$$\frac{V_1^2}{2g}+\frac{P_1}{\rho g}+h_1=\frac{V_2^2}{2g}+\frac{P_2}{\rho g}+h_2$$

Con esta escritura se puede referir a los términos $\frac{P}{\rho g}+h$ como carga piezométrica, y a la suma de los tres como carga total.

Presión en fluidos en movimiento

A partir de la ecuación de Bernoulli se pueden definir diversos tipos de presión en los fluidos.

Presión estática

Es la presión ejercida por el fluido en todas sus direcciones. Esta corresponde a la presión que se mediría con un instrumento que se mueve con el fluido. Para medirla se puede usar una toma perpendicular a la dirección del flujo.

$$P_E=P+\rho gh$$

Presión dinámica

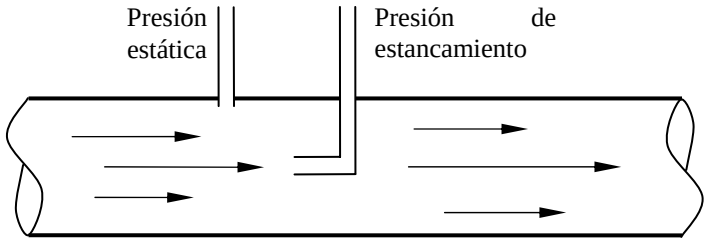
Es la presión que se produce por el efecto de la velocidad del fluido. Esta se ejerce solamente en la dirección del fluido. En un fluido estático la presión dinámica es cero. Para medirla se debe hacer la diferencia entre la presión de estancamiento y la presión dinámica.

$$P_D = \rho \frac{V^2}{2}$$

Presión de estancamiento

Es la presión resultante de la presión estática más la presión dinámica. Su valor será el de la presión cuando el fluido se desacelera hasta obtener una velocidad cero en un proceso sin rozamiento.

$$P_T = P_E + P_D = P + \rho g h + \rho \frac{V^2}{2}$$



Segunda deducción: deducción energética

Es también posible deducir la ecuación de Bernoulli utilizando la ley de la conservación de la energía o primera ley de termodinámica, aplicada a un tubo de corriente, la cual se expresa como:

$$\dot{Q} + \dot{W}_S = \frac{\partial}{\partial t}\int_{vc} e\rho d\forall + \int_{sc}\left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}dA$$

Donde:

$\dot{Q}$: calor generado o cedido

$\dot{W}_S$: trabajo generado o cedido

$\frac{\partial}{\partial t}\int_{vc} e\rho d\forall$: cambio de energía en el tubo de corriente (volumen de control)

$\int_{sc}\left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}dA$: energía atraviesa las paredes del tubo de corriente (superficie de control)

Si consideramos el flujo estable:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{vc} e\rho d\forall = 0$$

La ecuación de continuidad nos dice que para un flujo estable y propiedades uniformes:

$$\int_{sc} \rho\vec{V}dA = \rho_1\overline{V}_1 A_1 = \rho_2\overline{V}_2 A_2 = \dot{m}$$

Para un tubo de corriente las únicas entradas y salidas posibles son los extremos del mismo por lo tanto se puede analizar la ley para una entrada (1) y una salida (2):

$$\int_{sc}\left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}dA = \left[\left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}A\right]_1^2$$

$$= \left(\left(u_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^{\,2}}{2} + gz_2\right) - \left(u_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^{\,2}}{2} + gz_1\right)\right)\dot{m}$$

Sustituyendo en la ecuación y dividiendo entre el flujo másico se obtiene:

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}+\frac{\dot{W}_S}{\dot{m}}=\left(u_2+\frac{P_2}{\rho}+\frac{V_2^{\,2}}{2}+gz_2\right)-\left(u_1+\frac{P_1}{\rho}+\frac{V_1^2}{2}+gz_1\right)$$

En donde:

$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}+u_1-u_2=q$: energía disipada por pérdidas por fricción

$\frac{\dot{W}_S}{\dot{m}}=W$: trabajo por unidad de masa

La ecuación queda como:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{V_1^2}{2}+gz_1+q+W=\frac{P_2}{\rho}+\frac{V_2^{\,2}}{2}+gz_2$$

Dividiendo la ecuación por la gravedad obtenemos:

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1+\frac{q}{g}+\frac{W}{g}=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}+z_2$$

Si consideramos un flujo ideal (sin fricción) y no existe trabajo aplicado o cedido al fluido obtenemos la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}+z_2$$

En esta interpretación energética de la ecuación de Bernoulli es posible identificar varios tipos de energía:

- Energía potencial o geodésica:

  $$E_Z=\rho g\cancel{V}z$$

  O como altura equivalente de energía específica: $e_Z=\frac{\rho g\cancel{V}z}{\rho g\cancel{V}}=z$

- Energía de presión:

  $$E_P=\frac{P}{\rho}m=\frac{P}{\rho}\rho\cancel{V}=P\cancel{V}$$

  O como altura equivalente de energía específica: $e_P=\frac{P\cancel{V}}{\rho g\cancel{V}}=\frac{P}{\rho g}$

- Energía cinética:

  $$E_C=m\frac{V^2}{2}$$

  O como altura equivalente de energía específica: $e_c=m\frac{V^2}{2}\frac{1}{\rho g\cancel{V}}=\frac{V^2}{2g}$

Ecuación de Bernoulli generalizada

En la ecuación de Bernoulli se puede también tomar en cuenta los términos de energía disipada y trabajo entregado o cedido al fluido en cuyo caso obtendremos la ecuación de Bernoulli generalizada que se suele expresar como:

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1+h_W-h_P=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}+z_2$$

Donde:

$h_W=W/g$: altura de trabajo de bombas o turbinas

$h_P=-q/g$: altura de pérdidas por fricción.

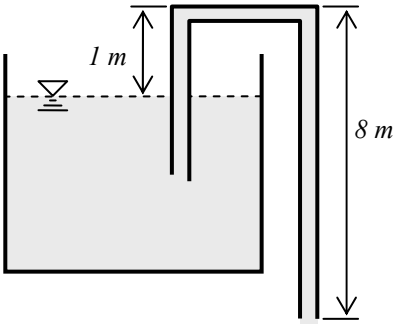
Ejercicios

Ejercicio 1

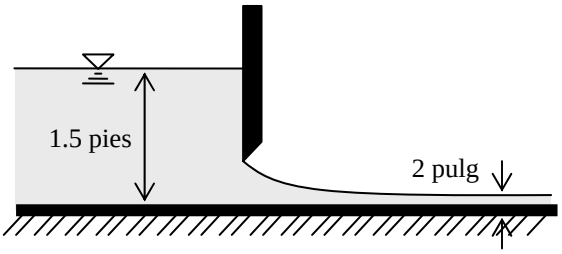
A través de una tobera horizontal se descarga aire hacia la atmósfera; el flujo es estacionario y con baja velocidad. A la entrada de la tobera el área de la sección transversal es 0.1 m^2; a la salida el área es de 0.02 m^2. El flujo es esencialmente incompresible y los efectos de rozamiento se pueden despreciar. Determinar la presión manométrica necesaria a la entrada de la tobera para producir una velocidad a la salida de 50 m/s.

Ejercicio 2

Un tubo en U que actúa como un sifón para agua se muestra en la siguiente figura. Si el flujo se puede considerar como sin rozamiento como primera aproximación y si el fluido que sale de la parte inferior del sifón constituye un chorro libre a presión atmosférica, determinar (una vez listadas las suposiciones necesarias) la velocidad del chorro libre en m/s y la presión absoluta del fluido en el punto A del conducto en Pa.



Ejercicio 3



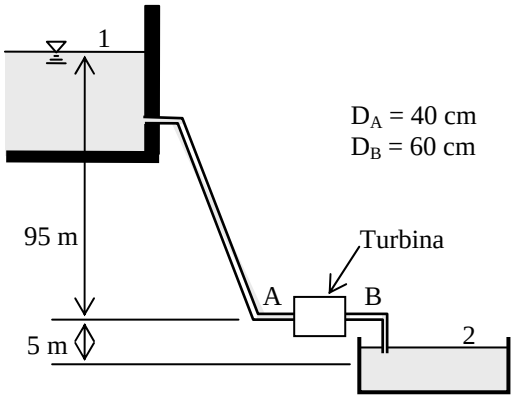
El acceso a un canal que conduce agua se controla mediante una compuerta deslizante. Aguas arriba de la compuerta, el nivel alcanza 1.5 pies y la velocidad es despreciable. En la sección transversal más reducida (conocida comúnmente como vena contracta) aguas debajo de la compuerta, las líneas de corriente son rectilíneas y el nivel del agua es de 2 pulgadas. Se puede suponer que en cada sección la distribución de presiones corresponde a la hidrostática, que el flujo es uniforme y los efectos viscosos despreciables. Determinar la velocidad del flujo aguas abajo de la compuerta y el gasto volumétrico en pie^3/s por cada pie de ancho de la compuerta.

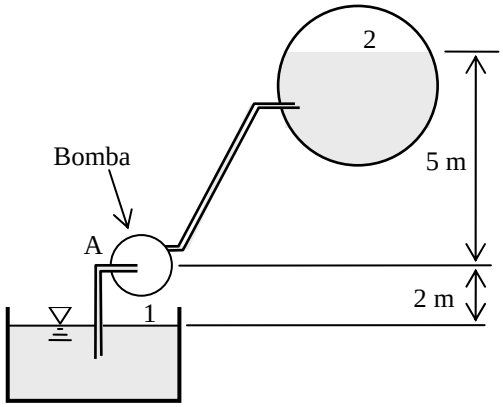
Ejercicio 4

Una avioneta vuela a 150 Km/hr a una altitud de 1000 m en una atmósfera estándar. En cierto punto cercano a una de las alas, la velocidad del aire relativo a dicha ala es de 60 m/s. Calcule la presión en ese punto.

Ejercicio 5

Para un flujo sin fricción calcule el gasto (o caudal) en m^3/s necesarios para que la turbina de la figura genere 2 MW. Calcule adicionalmente la presión manométrica en los puntos A y B.





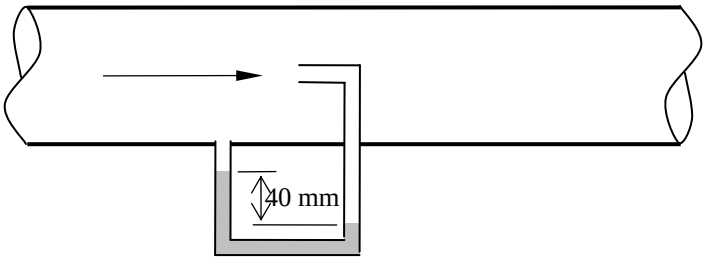
Ejercicio 6

La figura muestra un sistema de bombeo para una caldera de 800 KPa. Para un flujo sin fricción calcular:

- La potencia de bombeo de un caudal de 0.5 l/s
- El diámetro de la tubería de succión (D_A), necesario para que la presión de vacío en A sea de magnitud inferior a 40KPa.

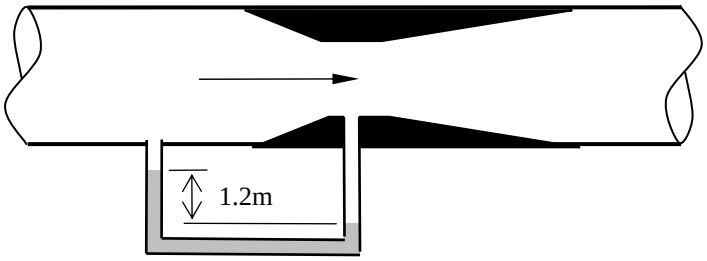
Ejercicio 7

Un tubo de Pitot se coloca en un flujo de agua para medir su velocidad. El tubo se coloca de tal manera que apunte hacia la dirección aguas arriba del flujo y que la presión que se obtiene de la sonda sea la presión de estancamiento. La presión estática se mide en la misma sección del flujo, utilizando un orificio practicado en la pared. Si el fluido en el manómetro es mercurio determine la velocidad del flujo.



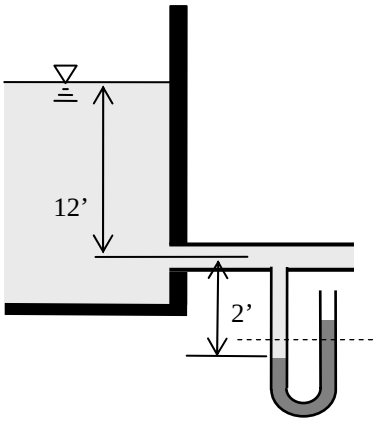
Ejercicio 8

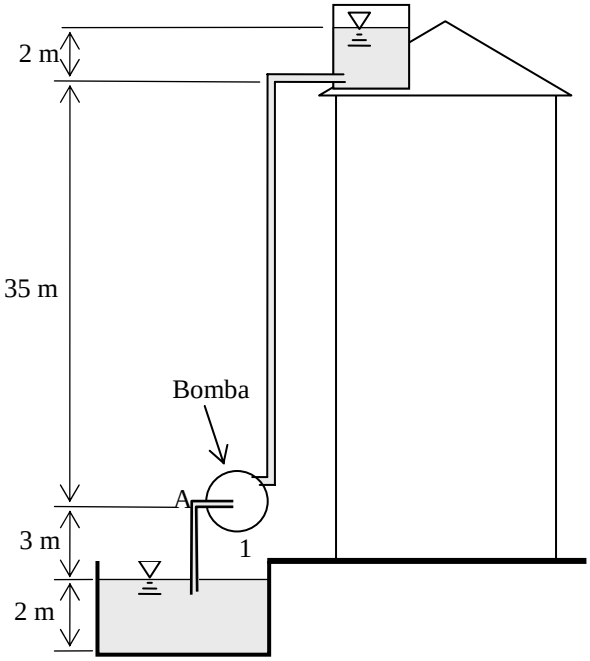
La figura representa un tubo Venturi con un diámetro de tubería de D = 100 mm, y un diámetro en la garganta del Venturi de d = 50 mm. Si la diferencia de presión medida entre la entrada al tubo y la garganta es de 1.2 m de columna de mercurio, calcula la el caudal de agua que pasa por la tubería y la velocidad promedio del agua en la tubería.



Ejercicio 9

Desde un depósito muy grande fluye agua a través de un tubo de 2” de diámetro, tal como se observa en la figura. El fluido oscuro en el manómetro es mercurio. Determinar la velocidad en la tubería y el gasto volumétrico de descarga si la diferencia de nivel en los dos lados del manómetro es de 6 pulgadas.





Ejercicio 10

Para el sistema de bombeo del edificio mostrado en la figura calcular, despreciando los efectos de fricción:

- Potencia requerida en la bomba para obtener un caudal de 1 l/s.
- Calcular el diámetro de la tubería de succión para que no se produzca cavitación en la entrada de la bomba.