

Capacitación para técnicos aspirantes a operadores de una refinería de petróleo

2023

Mg. Ing. Andrea Caballero

EQUIPO DOCENTE

Andrea Caballero

Ing. Industrial

andrea.caballero@ingenieria.uncuyo.edu.ar

MÓDULO N°1

NIVELACION FLUIDOS

Contendidos

1. MATEMÁTICAS

1.1. Ecuaciones

1.1.1 Ecuación de Primer Grado

1.1.2. Resolución Simple de Ecuaciones de Primer Grado

2. FÍSICA

2.1. Magnitudes físicas

2.1.1. Unidades de Base (o Fundamentales)

2.1.2. Unidades Derivadas

2.2. Sistema de unidades

Contendidos

2.3. Descripción de magnitudes físicas

2.3.1. Presión

2.3.2. Temperatura

2.3.3. Caudal

2.3.4. Nivel

2.3.5. Concentración

2.3.6. pH

2.3.7. Masa y Peso

2.3.8. Columna hidrostática

2.4. Trabajo y Energía

2.4.1. Energía Potencial

2.4.2. Energía Cinética

2.4.3. Energía Calórica

2.4.3.1. Relación entre Calor y Energía

Contendidos

2.5. Materia

2.5.1. Estados de agregación la materia

2.6. Sistemas termodinámicos: abiertos, cerrados, aislados, endotérmicos y exotérmicos

2.6.1. Formas de conducción de la energía calórica

2.6.2. Calor sensible y calor latente

2.6.3. Cambios de fases.

2.7. Propiedades de los fluidos

2.7.1. Fluidos Compresibles e incompresibles, ideales y reales

2.7.2. Viscosidad

2.7.3. Densidad

2.7.4. Peso específico

Contendidos

- 2.7.5. Tensión Superficial
- 2.7.6. Presión de Vapor
- 2.7.7. Presión de Vapor Reid
- 2.7.8. Punto de Rocío
- 2.8. Cromatografía
- 2.9. Estática de los Fluidos
 - 2.9.1. Ecuación General de la Hidrostática
 - 2.9.2. Ley de Pascal
 - 2.9.3. Transporte de Fluidos
 - 2.9.4. Número de Reynolds
 - 2.9.5. Flujo Laminar y Turbulento
 - 2.9.6. Ecuación de la Continuidad
 - 2.9.7. Ecuación de Bernoulli
- 2.10. Nociones de Pérdidas de Cargas



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Mg. Ing. Andrea Caballero

PROPIEDADES GENERALES

- **MOVILIDAD**: No tienen forma propia, la misma depende de la gravedad y del recipiente que lo contiene.
- **ISOTROPÍA**: Las propiedades se manifiestan en cualquier dirección en forma idéntica. (PROPIEDADES CTES)

Los **líquidos** oponen gran resistencia a los esfuerzos de compresión, no siendo así para los esfuerzos tangenciales. Es decir que presentan una muy elevada resistencia a los esfuerzos que tiendan a disminuir su volumen, pero a su vez, es muy baja su resistencia a los cambios de forma.

Los **gases** ofrecen poca resistencia tanto al cambio de volumen como de forma.

DENSIDAD ABSOLUTA

La densidad de cualquier sustancia se define como la relación entre la masa de la sustancia y el volumen que ocupa, si la sustancia es homogénea e isótropa la densidad absoluta es:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

La densidad varía con la temperatura y en menor medida con la presión.

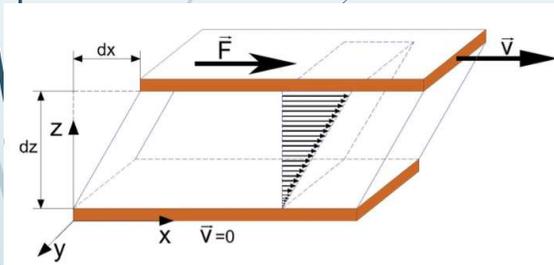
DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD ESPECÍFICA

La densidad relativa (δ_r) de un líquido o de un sólido es la relación de su densidad absoluta con la del agua pura, tomada en su máximo valor, por consiguiente, no tiene unidad (es adimensional).

La densidad relativa de un gas es la relación con respecto a la densidad del aire, tomado en las mismas condiciones de presión y temperatura. También es adimensional.

VISCOSIDAD

Es una propiedad de los fluidos que se manifiesta por la resistencia que ofrece al desplazamiento relativo de sus partículas como resultado de la actividad molecular (fricción interna). Esta fuerza de resistencia denominada viscosidad dinámica o absoluta μ .



La fricción interna en un fluido causa esfuerzos de corte cuando dos capas adyacentes de fluido se mueven una en relación con la otra, como cuando un fluido fluye dentro de un tubo o alrededor de un obstáculo.

VISCOSIDAD



La temperatura es una variable que tiene mucha influencia sobre la viscosidad y sus efectos son muy diferentes tanto en los gases y en los líquidos.

A medida que aumenta la temperatura en un gas, también aumenta la viscosidad. La variación de presión tiene poca influencia en dicha fuerza de resistencia, a menos que sea un valor muy alto.

Contrariamente, en los líquidos, los valores de viscosidad absoluta aumentan con la disminución de la temperatura.

FLUIDOS REALES E IDEALES

En muchas aplicaciones teóricas y prácticas, es conveniente la idealización de un fluido hipotético, al que se identifica como un medio continuo de viscosidad nula, al que se llama fluido ideal.

En el caso de los líquidos perfectos (o ideales) se debe, además de la consideración de $\mu = 0$ (viscosidad nula), agregar la condición de incompresibilidad, es decir $\rho = \text{cte}$. También podemos tratar un gas como incompresible si las diferencias de presión de una región a otra no son muy grandes.

En los gases perfectos, se fija la condición de que cumpla con la ecuación de estado para gases ideales:

$$PV = nRT$$

PESO ESPECÍFICO

Al igual que se definió la gravedad en su momento podemos definir el peso específico de una sustancia como la relación entre el peso de esa cantidad de sustancia y el volumen que ocupa

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Donde:

γ = peso específico

p = peso

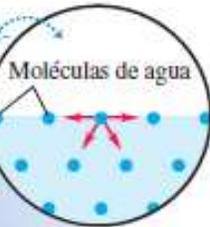
v = Volumen

Para un fluido homogéneo, isótropo e incompresible, entonces $\gamma = cte$

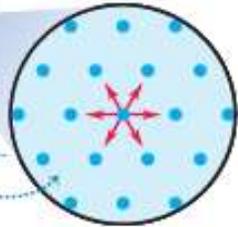
TENSIÓN SUPERFICIAL

Las moléculas en un líquido son atraídas por moléculas vecinas.

En la superficie, las atracciones desequilibradas hacen que la superficie resista al ser estirada.



Las moléculas en el interior son igualmente atraídas en todas direcciones.



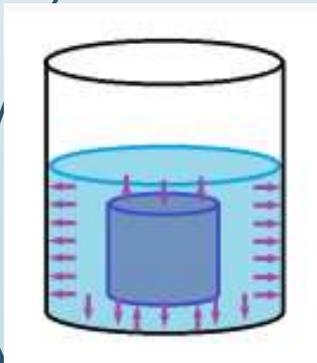
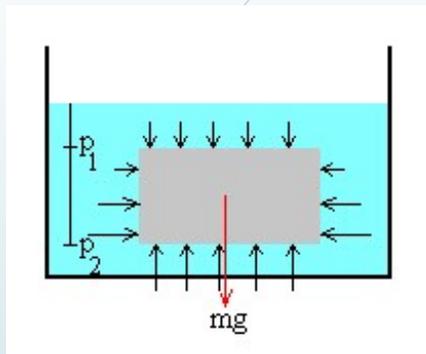
Para formar la superficie libre en un líquido, es necesario realizar un trabajo contra las fuerzas de cohesión entre partículas de una misma sustancia. Esto demuestra una propiedad física de los líquidos que definimos como tensión superficial σ (también llamada energía superficial) y tiene como unidades en el SI N/m ó J/m.

Esta propiedad es la razón por la que toda masa de líquida tienda a disminuir su superficie, ejemplo de ello son las superficies planas de los lagos, el mar, etc. en calma o que los líquidos al caer (o en ausencia de gravedad) tiendan a formar volúmenes esféricos (gotas).

La tensión superficial del agua es mayor que la de la mayoría de los líquidos, lo que permite que los insectos se posen encima.

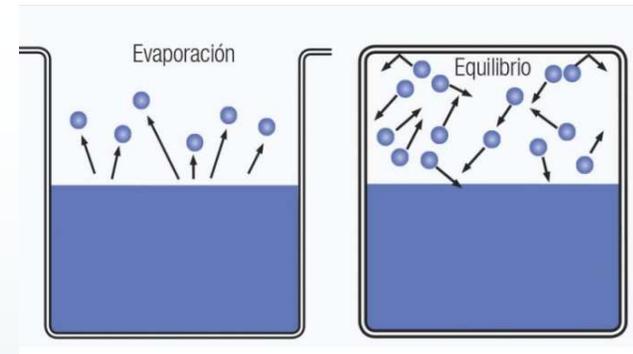
La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura.

PRESIÓN DE UN FLUIDO



Cuando un fluido (ya sea líquido o gas) está en reposo, ejerce una fuerza perpendicular a cualquier superficie en contacto con él, como la pared de un recipiente o un cuerpo sumergido en el fluido. Aunque el fluido considerado como un todo está en reposo, las moléculas que lo componen están en movimiento; la fuerza ejercida por el fluido se debe a los choques de las moléculas con su entorno.

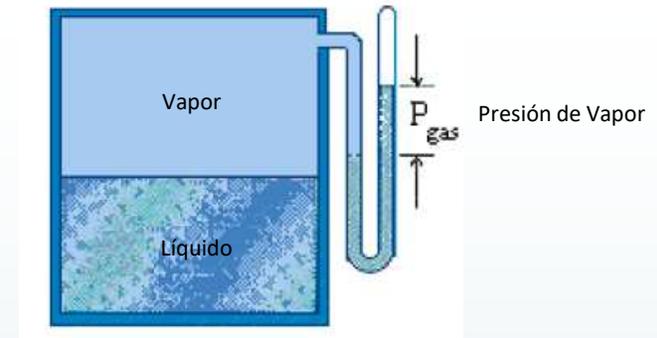
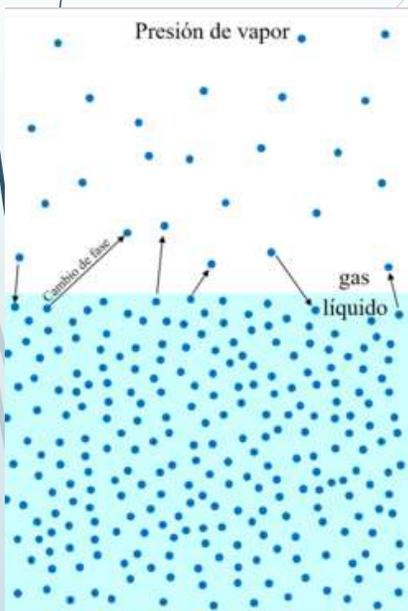
PRESIÓN DE VAPOR



Un líquido no tiene que ser calentado a su punto de ebullición antes de que pueda convertirse en un gas. El agua, por ejemplo, se evapora de un envase abierto en la temperatura ambiente (20°C), aunque su punto de ebullición es 100°C .

A temperaturas muy por debajo del punto ebullición, algunas de las partículas se mueven tan rápidamente que pueden escaparse del líquido. Cuando sucede esto, la energía cinética media del líquido disminuye. Consecuentemente, el líquido debe estar más frío. Por lo tanto, absorbe energía de sus alrededores hasta que vuelve al equilibrio térmico. Pero tan pronto como suceda esto, algunas de las moléculas de agua logran tener nuevamente bastante energía para escaparse del líquido. Así, en un envase abierto, este proceso continúa hasta que toda la agua se evapora.

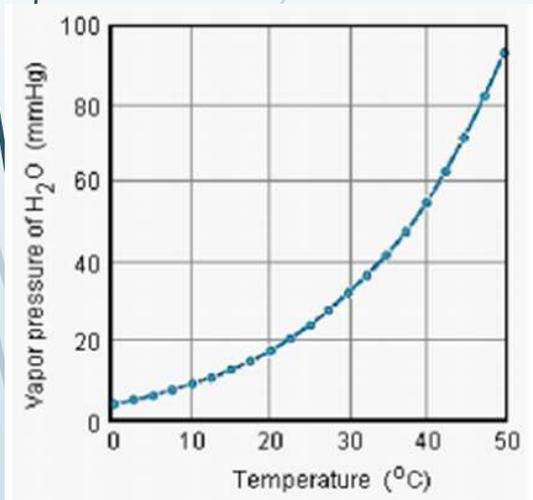
PRESIÓN DE VAPOR



En un envase cerrado la tasa a la cual el líquido se evapora para formar un gas llega a ser eventualmente igual a la tasa a la cual el gas se condensa para formar líquido. En este punto, el sistema se dice está en equilibrio. El espacio sobre el líquido se satura con el vapor de agua, y no se evapora más agua.

La presión de vapor es la que ejerce la fase gaseosa sobre la fase líquida

PRESIÓN DE VAPOR

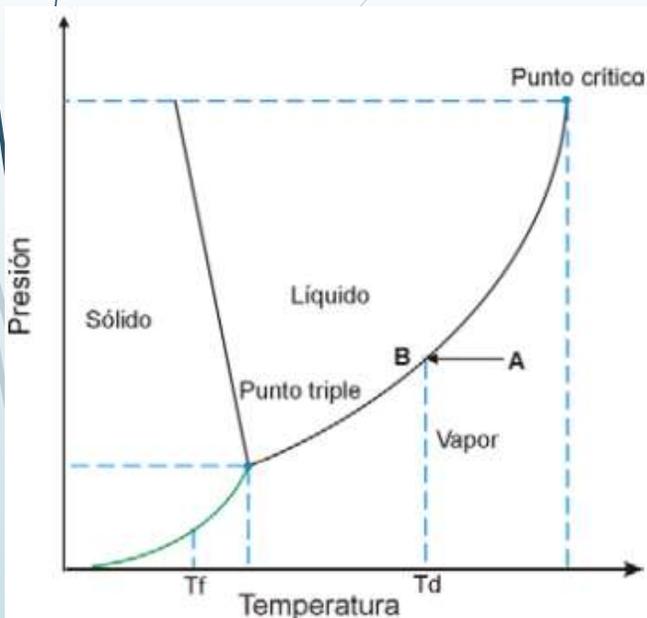


La presión del vapor de un líquido también aumenta con la temperatura, pero esta relación entre la presión de vapor y la temperatura no es lineal. La presión del vapor del agua se incrementa más rápidamente que la temperatura del sistema.

En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado.

Para obtener cambios de fase adicionales, es necesario transferir energía en forma de calor.

PUNTO DE ROCÍO



Es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío o niebla. Para una masa dada de aire, que contiene una cantidad dada de vapor de agua (humedad absoluta), se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, es decir, al punto de rocío, y se expresa en porcentaje.

Así cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100 %) se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de temperatura (a presión constante) con la misma humedad relativa.

CROMATOGRAFÍA

La cromatografía es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia y la física.

Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

CROMATOGRAFÍA

La cromatografía puede cumplir dos funciones básicas que no se excluyen mutuamente:

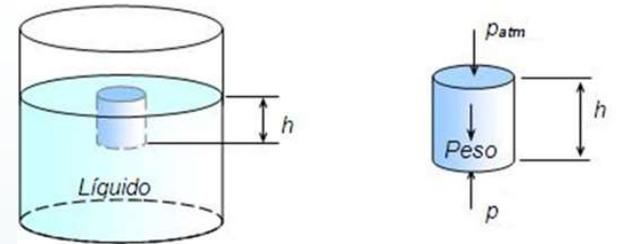
- **Separar los componentes de la mezcla, para obtenerlos más puros y que puedan ser usados posteriormente (etapa final de muchas síntesis).**
- **Medir la proporción de los componentes de la mezcla (finalidad analítica). En este caso, las cantidades de material empleadas son pequeñas.**



ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS

Mg. Ing. Andrea Caballero

ECUACIÓN GENERAL DE LA HIDROSTÁTICA



Si se considera un punto sumergido una profundidad h , la presión total (absoluta) ejercida sobre dicho punto es la debida a la columna del líquido más la presión que ejerce el aire sobre la columna. Es decir:

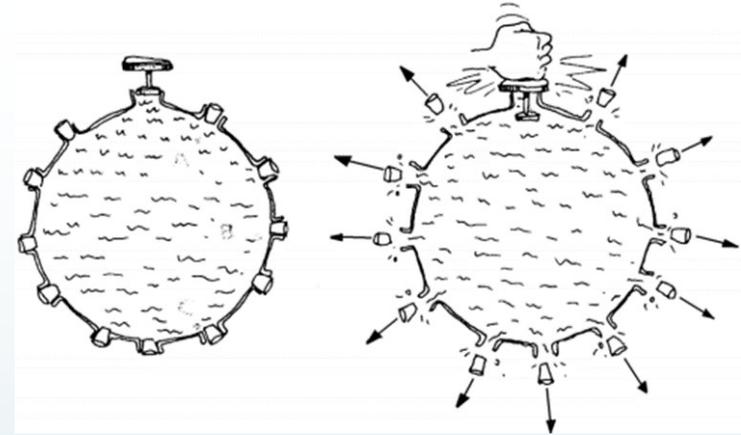
$$p = p_{atmosférica} + p_{líquido} = p_{atm} + \rho gh$$

Así la expresión del teorema general de la hidrostática es

$$p = p_0 + \rho gh$$

Se denomina presión relativa o manométrica al término ρgh o sea que es la diferencia entre las presión absoluta y la atmosférica.

LEY DE PASCAL



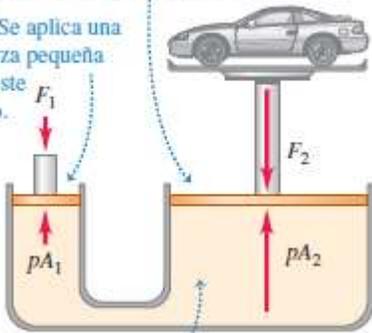
“La presión aplicada a un fluido encerrado se transmite sin disminución a todas las partes del fluido y las paredes del recipiente.”

La ecuación de continuidad nos dice que si aumentamos la presión p_0 en la superficie, tal vez usando un pistón que embona herméticamente en el recipiente para empujar contra la superficie del fluido, la presión p a cualquier profundidad aumenta exactamente en la misma cantidad.

LEY DE PASCAL

③ Al actuar sobre un pistón con una mayor área, la presión produce una fuerza capaz de sostener el automóvil.

① Se aplica una fuerza pequeña en este lado.



② La presión p tiene el mismo valor en todos los puntos a la misma altura en el fluido (ley de Pascal).

Este principio fundamenta el funcionamiento de las genéricamente llamadas máquinas hidráulicas.

Un pistón con área transversal pequeña A_1 ejerce una fuerza F_1 sobre la superficie de un líquido (aceite). La presión aplicada en A_1 se transmite a través del tubo conector a un pistón mayor de área A_2 :

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



TRANSPORTE DE FLUIDOS

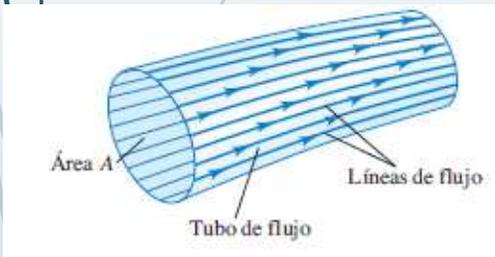
Mg. Ing. Andrea Caballero

FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

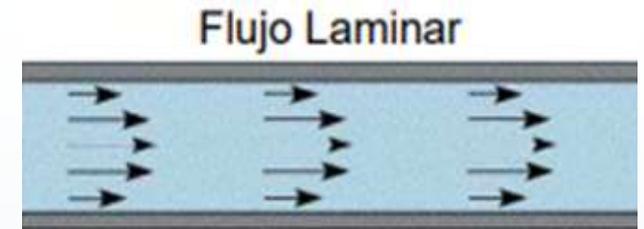
Considerando un fluido ideal, o sea incompresible y sin viscosidad.

Llamaremos línea de flujo a la trayectoria descrita por un elemento de fluido en movimiento. La velocidad del elemento varía en magnitud y dirección a lo largo de su línea de flujo. Si cada elemento que pasa por un punto dado sigue la misma línea de flujo que los elementos precedentes se dice que el flujo es estable o estacionario.

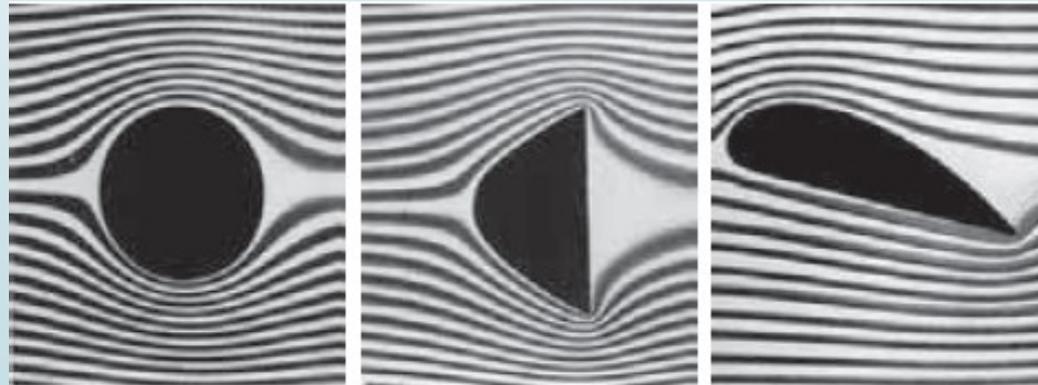
Llamaremos línea de corriente a la curva, cuya tangente en un punto cualquiera tiene la dirección de la velocidad del fluido en ese punto. En el régimen estacionario las líneas de corriente coinciden con las líneas de flujo.



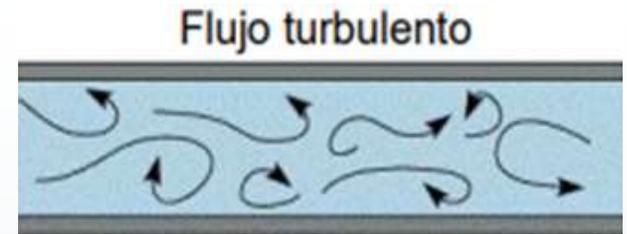
FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO



Se llama flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. Ocurre a velocidades relativamente bajas o viscosidades altas.



FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO



Se llama flujo turbulento cuando se hace más irregular, caótico e impredecible, las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos. Aparece a velocidades altas o cuando aparecen obstáculos abruptos en el movimiento del fluido.

NÚMERO DE REYNOLDS

Los experimentos muestran que el que régimen de flujo sea laminar o turbulento depende de la combinación de cuatro factores que se conoce como Número de Reynolds

$$NR = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Donde

ρ = densidad del fluido

v = velocidad media del fluido

η = viscosidad del fluido

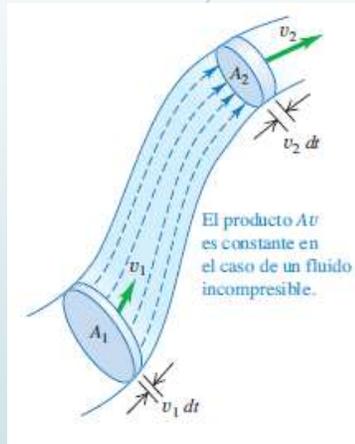
D = diámetro del tubo de conducción.

NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds es adimensional.

Diversos experimentos han demostrado que para $NR < 2000$ el régimen es laminar mientras que para $NR > 3000$ el régimen es turbulento. En la zona entre 2000 y 3000 el régimen es inestable y puede cambiar de laminar a turbulento o viceversa.

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD



Si se unen todas las líneas de corriente que pasan por el contorno de un elemento transversal del fluido de área A estas líneas rodean un tubo denominado tubo de flujo o tubo de corriente.

Si un tubo de corriente en régimen de flujo estacionario y sabiendo que a través de las superficies laterales del tubo no hay flujo, entonces el caudal másico que pasa por dos secciones del tubo se mantendrá constante:

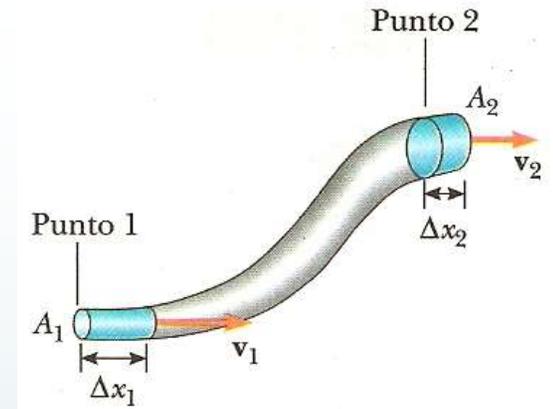
ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{m_1}{t} = \frac{m_2}{t}$$

$$m = \rho V = \rho A \Delta x$$

$$\frac{\rho_1 A_1 \Delta x_1}{t} = \frac{\rho_2 A_2 \Delta x_2}{t}$$



ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Cómo el fluido es incompresible, entonces la densidad en el punto 1 es igual al punto 2 y el $\Delta x/t$ es la velocidad:

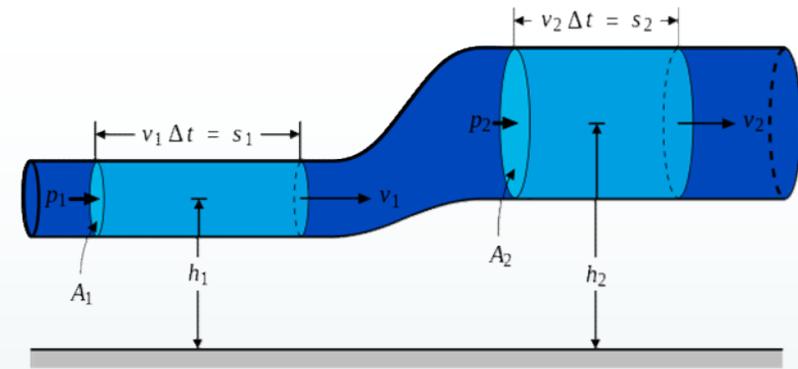
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Esta es la ecuación de continuidad que expresa que el caudal se mantiene constante y en consecuencia si la sección disminuye la velocidad del fluido aumenta.

ECUACIÓN DE BERNOULLI

Por la ecuación de continuidad cuando un fluido incompresible se mueve a lo largo de un tubo de flujo horizontal de sección transversal variable sabemos que su velocidad cambia y por lo tanto aparece una aceleración y deberá haber una fuerza responsable de esta aceleración. El origen de esta fuerza son las diferencias de presión alrededor del elemento concreto de fluido (Si P fuera la misma en todas partes, la fuerza neta sobre cada elemento de fluido sería nula).

ECUACIÓN DE BERNOULLI



La ecuación de Bernoulli relaciona la diferencia de presión entre dos puntos de un tubo de flujo con las variaciones de velocidad y con las variaciones de altura.

Cuando un fluido ideal se mueve por un conducto en que su velocidad o su altura varían, la presión también cambia.

La fuerza de la presión p_1 en el extremo inferior del tubo de área A_1 es:

$$F_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

ECUACIÓN DE BERNOULLI

El trabajo realizado por la fuerza es:

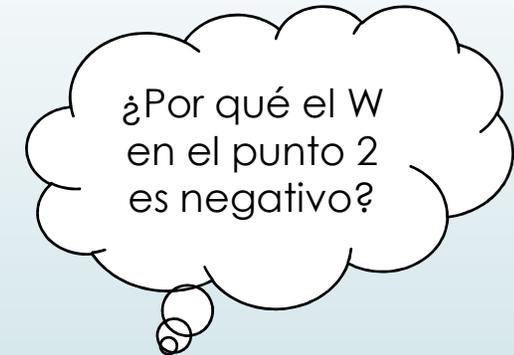
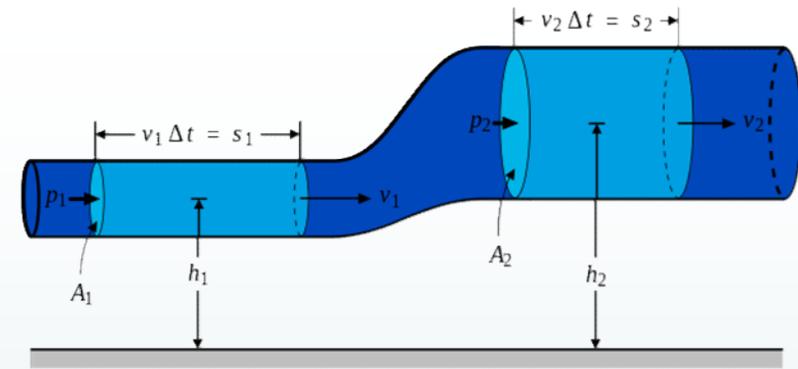
$$W_1 = F_1 \Delta x_1$$

$$W_1 = p_1 A_1 \Delta x_1$$

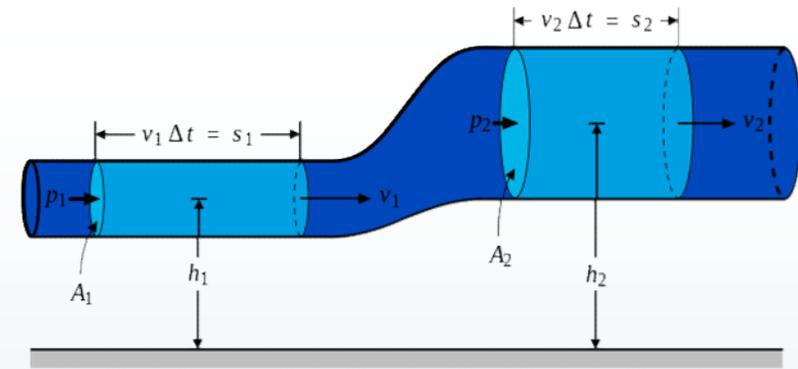
$$W_1 = p_1 V$$

Si se considera un mismo intervalo de tiempo, el volumen V de fluido que cruza la sección A_2 es el mismo que cruza A_1 entonces: El trabajo en el punto 2 del tubo es:

$$W_2 = -p_2 V$$



ECUACIÓN DE BERNOULLI



El trabajo neto realizado por las fuerzas en el intervalo de tiempo Δt es:

$$W_t = W_1 + W_2$$

$$W_t = p_1 V - p_2 V$$

$$W_t = (p_1 - p_2) V$$

Por el teorema de conservación de la energía, sabemos que el trabajo generado por una fuerza es igual a la suma de los cambios de E_c y E_p

ECUACIÓN DE BERNOULLI

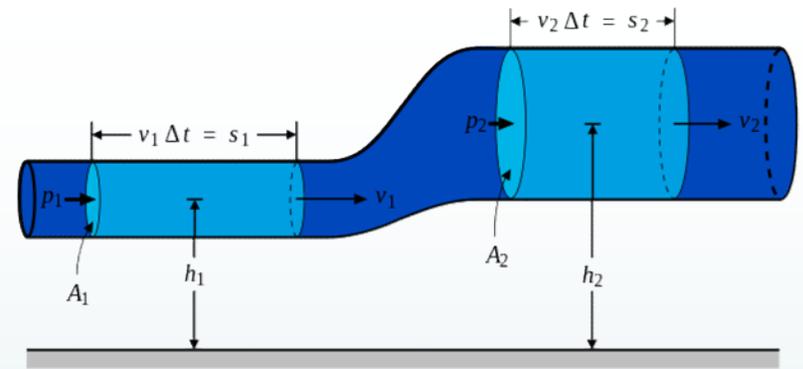
$$W = \Delta E_c + \Delta E_p$$

Reemplazando:

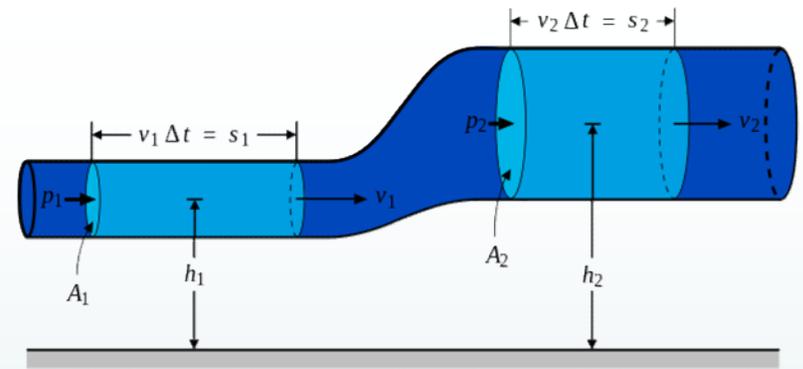
$$(p_1 - p_2)V = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1$$

Siendo $\delta = m/V$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\delta v_2^2 - \frac{1}{2}\delta v_1^2 + \delta gh_2 - \delta gh_1$$



ECUACIÓN DE BERNOULLI



Esta es la ecuación de Bernoulli para un fluido no viscoso, incompresible, estacionario e irrotacional, la cual se expresa comúnmente como:

$$p + \frac{1}{2} \delta v^2 + \delta gh = cte$$

NOCIONES DE PERDIDA DE CARGA

De las pérdidas de carga en tuberías en régimen turbulento, se puede decir:

- **Son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería**
- **Son directamente proporcionales a la longitud de la tubería**
- **Dependen del tipo de material de la tubería**
- **Dependen de la edad y/o mantenimiento de la tubería**
- **Aumentan con el incremento del caudal**
- **Dependen de la viscosidad y densidad del fluido**
- **Son independientes de la presión en la tubería**
- **Aumentan con los cambios de velocidad (reducciones) o de dirección (codos o curvas)**

la pérdida de carga en una tubería o canalización es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.