INSTITUTO DE FORMACIÓN SUPERIOR

UNIDAD N°3

Mecánica de los Fluidos

TECNICATURA SUPERIOR EN PETRÓLEO. 2021

INDICE

OBJETIVOS

Comprender el comportamiento de los fluidos en movimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entender que fenomeno físico se manifiestan cuando el fluido se mueve a través de un medio.
Analizar como afectan las diferentes propiedes de los fluidos al momento de desplazarse.

ESQUEMA DE CONTENIDOS

CONTENIDOS

UNIDAD III

HIDRODINÁMICA

1. FLUJO DE FLUIDOS

En algunas situaciones el flujo de fluidos se puede representar con modelos idealizados. **Un fluido ideal es incompresible (su densidad no puede cambiar) y no tiene fricción interna (llamada viscosidad).** Los líquidos son aproximadamente incompresibles en casi todas las situaciones, y también podemos tratar un gas como incompresible si las diferencias de presión de una región a otra no son muy grandes.
Con respecto al flujo solo vamos a considerar situaciones de flujo estable. Se llama línea de flujo al trayecto de una partícula individual en un fluido en movimiento, entonces si el patrón global de flujo no cambia con el tiempo, tenemos un **flujo estable**. Las líneas de flujo que pasan por el borde de un elemento de área imaginario, como el área A que se observa en la imagen forman un tubo llamado tubo de flujo.

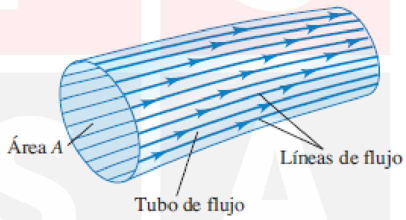


Figura 23: Tubo de flujo.

2. LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD – LEY DE CONSERVACIÓN DE LA MASA

La masa de un fluido en movimiento no cambia al fluir, y esto conduce a la llamada **Ecuación de continuidad**. Considere una porción de un tubo de flujo entre dos secciones transversales estacionarias con áreas A_1 y A_2 y los valores de la rapidez del fluido en estas secciones son v_1 y v_2, respectivamente.

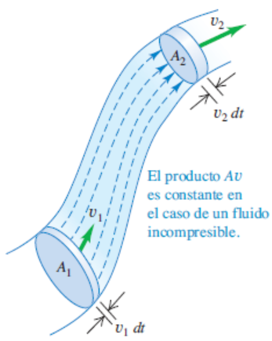


Figura 24: Porción de un tubo de flujo.

Durante un breve intervalo de tiempo *dt*, el fluido en A_1 se mueve una distancia v_1dt, así que un cilindro de fluido de altura v_1dt y volumen $dV_1 = A_1v_1dt$ fluye hacia el tubo a través de A_1. Durante ese mismo lapso, un cilindro de volumen $dV_2 = A_2v_2dt$ sale del tubo a través de A_2. Consideremos primero el caso de un fluido incompresible cuya densidad tiene el mismo valor en todos los puntos. La masa dm_1 que fluye al tubo por A_1 en el tiempo *dt* es $dm_1 = \rho A_1v_1dt$. De manera similar, la masa dm_2 que sale por A_2 en el mismo tiempo es $dm_2 = \rho\ A_2\ v_2dt$. En flujo estable, la masa total en el tubo es constante, así que $dm_1 = dm_2$, entonces:

$$\rho\, A_1\, v_1\, dt = \rho\, A_2\, v_2\, dt\ (Ec.35)$$

O bien,

$$A_1\, v_1 = A_2\, v_2\ (Ec.36)$$

La Ec. 36 es la **Ecuación de continuidad para fluido incompresible**. El producto *A.v* es la tasa de flujo de volumen *dV/dt*, la rapidez con que el volumen cruza una sección del tubo:

$$\frac{dV}{dt} = A\, v\ (Ec.37)$$

La Ecuación de continuidad para fluido incompresible indica que la tasa de flujo de volumen tiene el mismo valor en todos los puntos a lo largo de cualquier tubo de flujo.
Podemos generalizar la ecuación de continuidad para el caso en que el fluido no es incompresible entonces, si ρ_1 y ρ_2 son las densidades en las secciones 1 y 2, la **Ecuación de continuidad para fluido compresible** queda:

$$\rho_1 A_1\, v_1 = \rho_2 A_2\, v_2\ (Ec.38)$$

3. FLUJO DE VOLUMEN: CAUDAL

El Caudal es el volumen de flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo. La magnitud denominada flujo de volumen o caudal se define como sigue:

$$Q = A\, v = [m^3/s]\ (Ec.39)$$

En el flujo estable de un fluido incompresible sin fricción interna (sin viscosidad), el caudal es el mismo en todos los puntos de fluido.

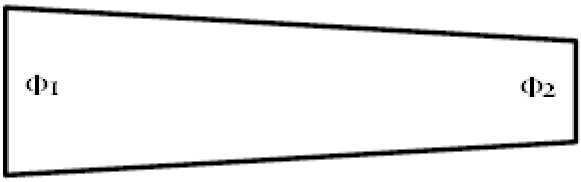
Ejemplo:

Por una tubería de 30 cm de diámetro circulan 1800 l/min, reduciendo después el diámetro de tubería a 15 cm. Calcular las velocidades medias en ambas tuberías.

Resolución:

Datos:

$$Q = 1800\frac{l}{min} = 1800\frac{l}{min}.\frac{10^{-3}m^3.min}{60\, s.l} = 0{,}030\frac{m^3}{s}$$
$$\emptyset_1 = 30\ cm = 0{,}3\ m$$
$$\emptyset_2 = 15\ cm = 0{,}15\ m$$



$$Q = A\,v$$
$$Q = A_1\,v_1$$
$$0{,}030\,\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(0{,}3\;m)^2}{4}\,.\,v_1$$

$$v_1 = \frac{0{,}030\,\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0{,}3\;m)^2}{4}}$$
$$\boxed{v_1 = 0{,}43\,\frac{m}{s}}$$

$$Q = A_2\,v_2$$
$$0{,}030\,\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(0{,}15\;m)^2}{4}\,.\,v_2$$

$$v_2 = \frac{0{,}030\,\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0{,}15\;m)^2}{4}}$$
$$\boxed{v_2 = 1{,}7\,\frac{m}{s}}$$

4. ECUACIÓN DE BERNOULLI

La Ecuación de Bernoulli proviene de aplicar a un flujo de fluido la ecuación de balance de energía y relaciona la presión, la rapidez de flujo y la altura para el flujo de un fluido ideal de la siguiente manera:

$$p_1 + \rho\,g\,y_1 + \frac{1}{2}\,\rho\,{v_1}^2 = p_2 + \rho\,g\,y_2 + \frac{1}{2}\,\rho\,{v_2}^2\;(Ec.40)$$

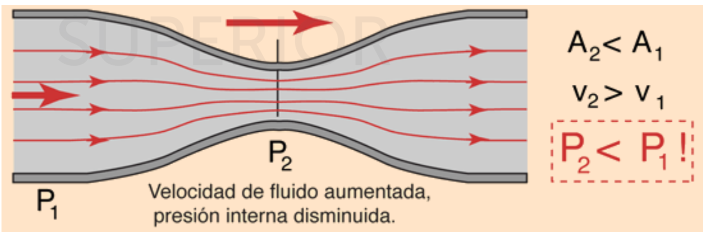


Figura 25: Flujo a través de una tubería de diámetro variable.

La ecuación de Bernoulli establece que la suma de la presión, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial por unidad de volumen tiene el mismo valor en todos los puntos a lo largo de una línea de flujo, por lo tanto podemos escribir:

$$E_H = p + \rho\,g\,y + \frac{1}{2}\,\rho\,v^2 = constante\;(Ec.41)$$

El comportamiento que normalmente evocamos con el término "efecto de Bernoulli", es el descenso de la presión del líquido en las regiones donde la velocidad del flujo es mayor. Observe que si el fluido no se mueve v1 = v2 = 0.

El principio de Bernoulli se aplica sólo en ciertas situaciones, ya que la Ecuación de Bernoulli sólo es válida para:

- Un flujo estable.
- Fluido incompresible.
- Sin fricción interna (sin viscosidad).

Ejemplo:

Una tubería, que transporta aceite de densidad relativa 0,877, pasa de 15 cm (0,15 m) de diámetro en la sección E, a 45 cm (0,45 m) en la sección R. La sección E está a 3,6 m por debajo de R y la presión en la sección E es 0,930 kg/cm^2 (91201,86 Pa). ¿Cuál es la presión a la salida de la tubería (sección R) si el caudal es de 146 l/s y no existe perdida de flujo?

Resolución:

Calculo la rapidez de flujo a la entrada y a la salida.

$$Q = 146\frac{l}{s}10^{-3}\frac{m^3}{l} = 0{,}146\frac{m^3}{l}$$
$$Q = A\,v$$
$$Q = A_1\,v_1$$

$$0{,}146\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(0{,}15\,m)^2}{4}.v_1$$

$$v_1 = \frac{0{,}146\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0{,}15\,m)^2}{4}}$$

$$\boxed{v_1 = 8{,}26\,\frac{m}{s}}$$

$$Q = A_2\,v_2$$
$$0{,}146\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(0{,}45\,m)^2}{4}.v_2$$

$$v_2 = \frac{0{,}146\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0{,}45\,m)^2}{4}}$$

$$\boxed{v_2 = 0{,}92\frac{m}{s}}$$

Plantear Ecuación de Bernoulli

$$p_1 + \rho_r\rho_{agua}\,g\,y_1 + \frac{1}{2}\,\rho_r\rho_{agua}\,{v_1}^2 = p_2 + \rho_r\rho_{agua}\,g\,y_2 + \frac{1}{2}\,\rho_r\rho_{agua}\,{v_2}^2$$

$$91201{,}86\;Pa + 0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\,9{,}8\frac{m}{s^2}\,.0m + \frac{1}{2}0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\left(8{,}26\frac{m}{s}\right)^2$$
$$= p_2 + 0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\,9{,}8\frac{m}{s^2}\,.3{,}6\,m + \frac{1}{2}0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\left(0{,}92\frac{m}{s}\right)^2$$

$$p_2 = 91201{,}86\ Pa + \frac{1}{2}0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\left(8{,}26\frac{m}{s}\right)^2 - 0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\,9{,}8\frac{m}{s^2}\,.3{,}6\,m - \frac{1}{2}0{,}877.1000\frac{kg}{m^3}\left(0{,}92\frac{m}{s}\right)^2$$

$$\boxed{p_2 = 89807{,}96\ Pa}$$

4.1 TUBO VENTURI

El Tubo Venturi o Venturímetro es un aparato para medir la velocidad de un fluido. Un fluido de densidad ρ_F pasa a través de una tubería de área transversal A_1 que posee un estrechamiento de área A_2. Las 2 partes de la conducción están conectadas por un manómetro, un tubo en forma de U, parcialmente lleno de un líquido de densidad ρ_L. Como la velocidad de flujo es mayor en el estrechamiento, la presión es esta sección es menor que en la parte más ancha de la tubería. La diferencia de presión es esta sección es menor que en la parte más ancha de la tubería. La diferencia de presión viene medida por la diferencia Δh de los niveles del líquido en el tubo en U. Expresar la velocidad v_1 en función de la altura medida Δh y las magnitudes conocidas ρ_F, ρ_L y $r=A_1/A_2$

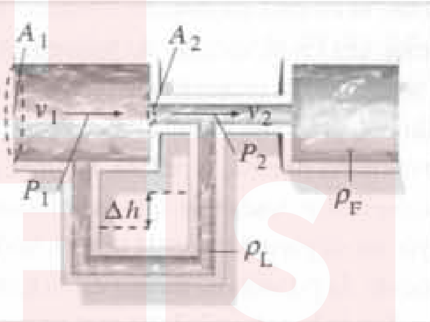


Figura 26: Venturímetro (Tubo Venturi).

Aplicando la Ecuación de Continuidad y la Ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 del Tubo Venturi, la velocidad a la entrada del tubo resulta:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2.g.\Delta h}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \quad (Ec.42)$$

$$v_1 = A_2\sqrt{\frac{2.(p_1 - p_2)}{\rho.(A_1{}^2 - A_2{}^2)}} \quad (Ec.43)$$

El efecto Venturi permite explicar cualitativamente tanto la sustentación de las alas de los aviones como las trayectorias curvas de las pelotas lanzadas con efectos. El ala de los aviones se diseña de modo que el aire se mueva más rápidamente sobre la parte superior del ala que bajo la misma, con lo cual la presión del aire es menor encima que debajo del ala.

Ejemplo:

Un tubo de Venturi en su parte más ancha posee un diámetro de 0,1524 m y una presión de 4,2 x10^4 N/m^2. En el estrechamiento, el diámetro es de 0,0762 m y la presión es de 3×10^4 N/m^2. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad inicial del agua que fluye a través de la tubería?

Resolución:

Analicemos primeramente nuestros datos:

$d_1 = 0{,}1524\ m$

$d_2 = 0{,}0762\,m$
$p_1 = 4{,}2.10^4\ Pa$
$p_2 = 3.10^4\ Pa$
$\rho = 1000\,\frac{kg}{m^3}$

Esta es la fórmula que usaremos:

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2.(p_1 - p_1)}{\rho.({A_1}^2 - {A_2}^2)}}$$

$$v_1 = \frac{\pi.(0{,}0762\ m)^2}{4} . \sqrt{\frac{2.(\ 4{,}2.10^4\ Pa - 3.10^4\ Pa)}{1000\,\frac{kg}{m^3}.((\pi.(0{,}1524\ m)^2/4)^2 - (\pi.(0{,}0762\ m)^2/4)^2)}}$$

$$\boxed{v_1 = 1{,}2624\ m/s}$$

5. MOVIMIENTO LAMINAR Y TURBULENTO

La Figura 27 ilustra patrones de flujo de fluidos de izquierda a derecha alrededor de varios obstáculos. Las fotografías se tomaron inyectando un tinte en el agua que fluye entre dos placas de vidrio cercanas. Estos patrones son representativos del flujo **laminar**, **en el que capas adyacentes de fluido se deslizan suavemente una sobre otra, y el flujo es estable.**

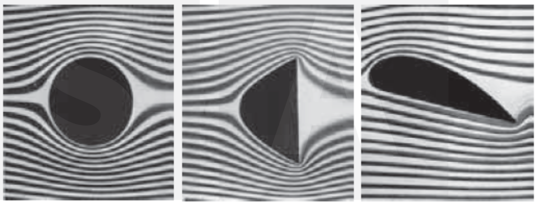


Figura 27: Patrones de Flujo.

Si la rapidez de un fluido que fluye excede cierto valor crítico, el flujo deja de ser laminar. El patrón de flujo se vuelve muy irregular y complejo, y cambia continuamente con el tiempo; no hay patrón de estado estable. Este **flujo irregular y caótico se denomina turbulencia.** Las irregularidades en el patrón de flujo pueden deberse a asperezas en la pared del tubo, variaciones en la densidad del fluido y muchos otros factores. La Ecuación de Bernoulli no es aplicable a regiones de turbulencia, pues el flujo no es estable.
En la Figura 28 se muestra en la imagen que el flujo de agua de un grifo es laminar cuando sale a baja rapidez (izquierda) y que es turbulento cuando tiene rapidez suficientemente alta (derecha).

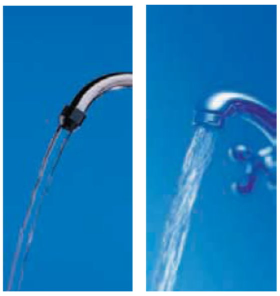


Figura 28: Izquierda: Flujo laminar. Derecha: Flujo Turbulento.

5.1. NUMERO DE REYNOLDS (Re)

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.
El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica.

$$R_e = \frac{Fuerzas\ Inerciales}{Fuerzas\ Viscosas} = \frac{\rho.D.v}{\mu} = \frac{v.D}{\nu}\ (Ec.44)$$

Dónde:
ρ: $Densidad.$
D: $Diámetro\ interno\ de\ la\ tuberia.$
μ: $viscosidad$
v: $velocidad\ del\ fluido.$
ν: $Viscosidad\ cinemática\ del\ fluido.$

En una tubería circular se considera:
- Re < 2300 El flujo sigue un comportamiento laminar.
- 2300 < Re < 4000 Zona de transición de laminar a turbulento.
- Re > 4000 El fluido es turbulento.

6. VISCOSIDAD

La viscosidad es fricción interna en un fluido. Las fuerzas viscosas se oponen al movimiento de una porción de un fluido en relación con otra. Los fluidos que fluyen con facilidad, como el agua y la gasolina, tienen menor viscosidad que los líquidos “espesos” como la miel o el aceite para motor. Las viscosidades de todos los fluidos dependen mucho de la temperatura, aumentan para los gases y disminuyen para los líquidos al subir la temperatura. Un fluido viscoso tiende a adherirse a una superficie sólida que está en contacto con ella. Siempre hay una capa de frontera delgada de fluido cerca de la superficie, en la que el fluido está casi en reposo respecto a ella. Pensemos primero en un fluido con cero viscosidad para poder aplicar la Ecuación de Bernoulli. Si los dos extremos de un tubo cilíndrico largo están a la misma altura (y1 = y2) y la rapidez de flujo es la misma en ambos extremos (v1 = v2), la ecuación de Bernoulli nos indica que la presión es la misma en ambos extremos. Sin embargo, este resultado simplemente no es válido si tomamos en cuenta la viscosidad. Para ver por qué, consideremos el flujo laminar de un fluido viscoso en un tubo cilíndrico largo. Debido a la viscosidad, la rapidez es cero en las paredes del tubo y máxima en el centro del tubo. Las fuerzas viscosas entre las capas de fluido se oponen al deslizamiento por lo tanto si queremos mantener el flujo, deberemos aplicar una mayor presión atrás del flujo que delante de él.

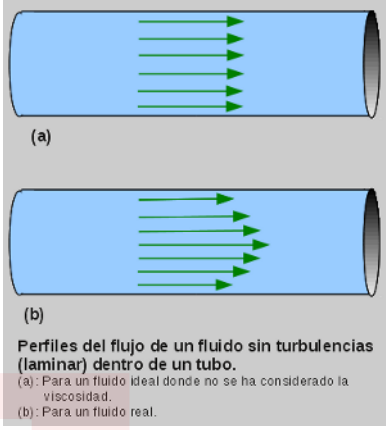


Figura 29: Perfiles de flujo de un fluido ideal y una real.

Newton fue quien estudió el efecto de la viscosidad, y estableció que la fuerza de por unidad de área es proporcional a la disminución de la velocidad V con la distancia Y. La constante de proporcionalidad μ se denomina **viscosidad del fluido.**

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \; (Ec. 45)$$

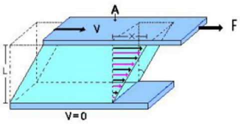
7. FLUJOS VISCOSOS

Al hablar del flujo de fluidos supusimos que el fluido no tenía fricción interna y que el flujo era laminar. Aunque en muchos casos esos supuestos son válidos, en muchas situaciones físicas importantes los efectos de la viscosidad (fricción interna) y la turbulencia (flujo no laminar) son extremadamente importantes. Se dice que el flujo es viscoso cuando aparecen en él importantes fuerzas de rozamiento que no se pueden despreciar. Como consecuencia de estas fuerzas de rozamiento aparecen esfuerzos cortantes[1] entre las capas del fluido vecinas cuando están moviéndose a velocidades distintas y hay una disipación de energía mecánica[2].
Cuando se consideran los efectos de la viscosidad la ecuación de la Bernoulli antes presentada, no puede ser utilizada, ya que se presentan pérdidas de energía. Estas pérdidas se llaman perdidas primarias.
No solo la viscosidad produce una variación en la energía en un flujo de fluido, la presencia de codos, bombas, turbinas, etc, varían la energía, las que se llaman pérdidas secundarias. Por lo tanto, la Ecuación de Balance de Energía queda:

$$E_{H1} - \Delta E_{\mu 1-2} - \Delta E_{Loc} + E_{Bomba} - E_{Turbina} = E_{H2} \; (Ec. 46)$$

Siendo
$\Delta E_{\mu 1-2}$: *Perdidas de carga debido a la viscosidad.*
ΔE_{Loc}: *Pérdidas localizadas (ejemplo: codos).*
E_{Bomba}: *Energía prorcionada por la bomba.*

[1] La fuerza por unidad de superficie requerida para mantener una velocidad constante de movimiento de un fluido. Matemáticamente, el esfuerzo cortante se define como: τ = F/A = $[\mathrm{N/m^2}]$.



[2] Disipación de la energía mecánica: si existe rozamiento en una transformación de energía, la energía mecánica (E mecánica = E cinética + E potencial) no se conserva por lo que se tiene $E_{mo} = E_{mf} + T_{fr}$.

$E_{Turbina}: Energía\ otorgada\ a\ la\ turbina.$

Siendo,

$$\Delta E_{\mu 1-2} = \frac{8.l.\mu.q}{\pi.R^4}\ (Ec.47)$$

La Ec. 47 se conoce con el nombre de Ley de Poiseuille. Esta ley se aplica solo al flujo laminar (no turbulento) de un fluido de viscosidad constante que es independiente de la velocidad del fluido.

8. PERDIDAS LOCALIZADAS

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, vimos que en las conducciones se produce otro tipo de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc, y que se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares. Para calcular dichas pérdidas se utilizan las siguientes ecuaciones:

- De depósito a tuberia
  - Conexión a ras de la pared: $h = 0,5.\frac{V^2}{2.g}$
  - Tubería entrante: $h = 1.\frac{V^2}{2.g}$
  - Conexión abocinada: $h = 0.05.\frac{V^2}{2.g}$
- De tubería a depósito (pérdida a la salida): $h = 1.\frac{V^2}{2.g}$
- Ensanchamiento brusco: $h = \frac{(V_i{}^2 - V_f{}^2)}{2.g}$
- Codos, válvulas: $h = K.\frac{V^2}{2.g}$

  Algunos valores corrientes de K son:
  - 45º codos.. 0,35 a 0,45
  - 90º codos.. 0,5 a 0,75
  - Tes .... 1,5 a 2
  - Válvulas de compuerta (abierta)................ aprox. 2
  - Válvula de control (abierta)......................... aprox. 3

9. FLUJOS COMPRESIBLES

Aquellos flujos donde las variaciones en densidad son insignificantes se denominan incompresibles; **cuando las variaciones en densidad dentro de un flujo no se pueden despreciar, se llaman compresibles**. Si se consideran los dos estados de la materia incluidos en la definición de fluido, líquido y gas, se podría caer en el error de generalizar diciendo que todos los flujos líquidos son flujos incompresibles y que todos los flujos de gases son flujos compresibles. La primera parte de esta generalización es correcta para la mayor parte de los casos prácticos, es decir, casi todos los flujos líquidos son esencialmente incompresibles. Por otra parte, los flujos de gases se pueden también considerar como incompresibles si las velocidades son pequeñas respecto a la velocidad del sonido en el fluido. La razón de la velocidad del flujo, v, a la velocidad del sonido, c, en el medio fluido recibe el nombre de número de Mach, M, es decir, *M=v/c*.

Entonces, los gases que fluyen con ***M < 0.3*** se pueden considerar como incompresibles. Las variaciones de densidad debidas al cambio de presión pueden ser despreciadas. En realidad lo que sucede es que el gas es compresible pero la densidad puede ser considerada constante.

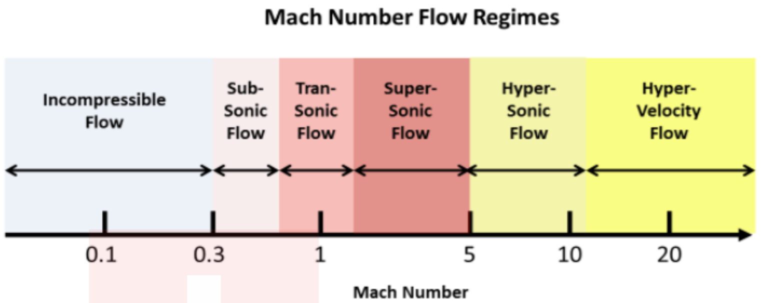


Figura 30: Diferentes régimen de flujo para el número de March.

AUTOEVALUACION

1. ¿Cuál es el caudal de una corriente que sale por una canilla de 0,5 cm de radio si la velocidad de salida es de 30 m/s?

2. Si en la canilla del problema anterior salen 50 l/min, ¿cuál es la velocidad de salida?

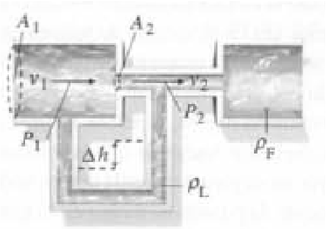
3. Una corriente estacionaria circula por una tubería que sufre un ensanchamiento. Si las secciones son de 1,4 cm² y 4,2 cm² respectivamente, ¿cuál es la velocidad de la segunda sección si en la primera es de 6 m/s?
4. En cierto punto de una tubería horizontal, la rapidez del agua es de 2,5 m/s y la presión manométrica es de $1{,}8.10^4$ Pa. Calcule la presión manométrica en un segundo punto sonde el área transversal es el doble que en el primer punto.

5. El caudal de una corriente estacionaria es de 600 l/min. Las secciones de la tubería son de 5 cm² y 12 cm². Calcule la velocidad de cada sección.

6. Por un tubo ubicado en forma horizontal circula agua con un caudal de 10 m^3/s. Inicialmente la superficie del tubo es 2 m^2 y la sección va disminuyendo hasta alcanzar un área de 1m^2.
    a) Cuál es la velocidad del agua al ingresar al tubo.
    b) Cuál es la diferencia de presión entre las dos secciones.
    c) En qué sección del tubo es mayor la presión.

Figura 31

7. A través de un venturímetro fluye agua a lo largo de una tubería de diámetro de 9,5 cm que en el estrechamiento se reduce a 5,6 cm. El manómetro en U está parcialmente lleno de Mercurio. Determinar la velocidad de flujo del agua en la tubería de 9,5 cm de diámetro si la diferencia entre los niveles de Mercurio del tubo en U es de 2,4 cm



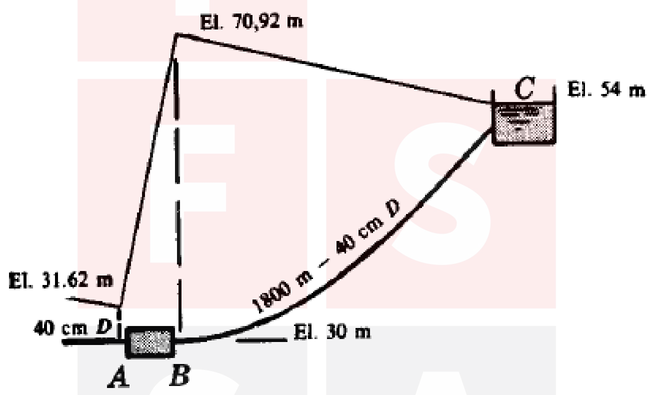
8. Glicerina a 25°C fluye por un conducto circular a 150 mm de diámetro con una velocidad promedio de 3,6 m/s. Determine si fluye en régimen laminar o turbulento. ρ = 1258 Kg/m3 ; μ = 0,96 Pa.s

9. Determinar la velocidad crítica para:

a. Un fuel-oil medio que fluye a 15ºC a través de una tubería de 15 cm de diámetro (viscosidad cinemática a 15ºC es $4,42.10^{-6}$ m^2/s).
b. El agua a 15º C que circula por una tubería de 15 cm (viscosidad cinemática a 15ºC es $1,13.10^{-6}$ m^2/s).

10. Un caudal de 44 l/s de un aceite de viscosidad absoluta 0,0103 kg/m^2 y de densidad relativa 0,85 está circulando por una tubería de 30 cm de diámetro y 3000 m de longitud. ¿Cuál es la pérdida de carga en la tubería?

11. Un fuel-oil medio a 15ºC se bombea al depósito C a través de 1800 m de una tubería nueva de acero roblonado de 40 cm de diámetro interior. La presión en A es de 0,14 kg/cm^2, cuando el caudal es de 197 l/s.
    a. ¿qué potencia debe suministrar la bomba a la corriente de fuel oiil?
    b. ¿Qué presión debe mantenerse en B?



Problemas Adicionales

1. En un punto de la tubería, la rapidez del agua es de 3 m/s y la presión manométrica es de 5.10^4 Pa. Calcule la presión manométrica en otro punto de la tuberia, 11 m más abajo, si el diámetro del tubo ahí es el doble que en el primer punto.

2. Se descarga agua de un tubo horizontal cilíndrico a razón de 465 cm^3/s. En el punto donde el radio es de 2,05 cm, la presión absoluta es de $1,6.10^5$ Pa. ¿Qué radio tiene una constricción del tubo donde la presión reduce a $1,2.10^5$ Pa?

3. Un tubo Venturi tiene un área transversal de 40 cm^2 en la parte más ancha y de 10 cm^2 en la reducción. Fluye agua através de tubo, cuya descarga es de 6.10^{-3} m^3/s (6 l/s). calcule:
    a. La rapidez del flujo en las porciones ancha y angosta.
    b. La diferencia de presión entre esas porciones.
    c. La diferencia de altura entre las columnas de Mercurio en el tubo en forma de U.

4. Para un flujo en régimen laminar, ¿qué diámetro de tubería será necsario para transportar 350 l/min de un fuel-oil medio a 4,5ºC ($v=7.10^{-6}$ m^2/s).

5. Un aceite lubricante medio, de densidad relativa 0,86, es bombeado a través de una tubería horizontal de 5 cm de diámetro y 300 m de longitud. El caudal bombeado es de 1,2 l/s. si la caída de presión es de 2,1 kg/cm^2, ¿cuál es la viscosidad absoluta del aceite?

BIBLIOGRAFIA

- Física Universitaria, volumen 1, Sears-Zemansky, Editorial Addison Wesley Iberoamericana.
- Fisica, tomo I,Tipler, editorial Reverté.
- Física 1 y 2, Resnick-Holliday, Editorial CECSA.

RESPUESTA DE LA AUTOEVALUACION

1. $Q=2{,}36.10^{-3}\ m^3/s$
2. V=10,61 m/s
3. $V_2=2$ m/s
4. $V_2=1{,}25$ m/s; $P_2=20343{,}75$ Pa
5. $V_1=20$ m/s; $V_2=8{,}33$ m/s
6. a) $V_1=5$ m/s; $V_2=10$ m/s; b) $P_2-P_1=-37500$ Pa; c) Hay mayor presión en la sección 1
7. $v_1=0{,}254$ m/s
8. Re=707,625
9. a)$V_c=0{,}0678$ m/s; b)$V_c=0{,}01733$ m/s
10. $\Delta E_{\mu 1\rightarrow 2}=6838{,}89$ Pa
11. $E_{bomba}=188799{,}25$ Pa; $H_{bomba}=22{,}38$ m; PH=371,93 Hp

Ejercicios adicionales.

1. $P_2=162018{,}75$ Pa
2. $R_2=0{,}33$ m
3. a) $V_1=1{,}5$ m/s; $V_2=6$ m/s; b) $P_1-P_2=16875$ Pa; c) $\Delta h=1{,}72$ m
4. D=0,46 m
5. M=5,6161 cP