

Unidad 3

Hidrocinemática.

Introducción.

La Hidrocinemática es la parte de la Hidráulica que estudia al movimiento de los fluidos desde el punto de vista de su descripción, sin dedicarse a las causas o motivos por los cuales se mueven de determinada manera; es decir, intenta contestar a la cuestión ¿cómo se mueven los fluidos? sin dedicarse a buscar respuesta a la interrogante ¿por qué se mueven como lo hacen?

Al movimiento de los fluidos lo llamamos **flujo**, y su descripción es fundamental para el estudio y comprensión de los fenómenos hidráulicos. Aquí la abordaremos de manera elemental dejando para otros niveles la descripción matemática profunda.

Al igual que en la Cinemática de la partícula, en la descripción del movimiento de los fluidos, usaremos los conceptos de: sistema de referencia, posición, desplazamiento, tiempo, velocidad lineal, aceleración lineal, velocidad angular y aceleración angular, y algunos otros que iremos definiendo conforme se necesiten.

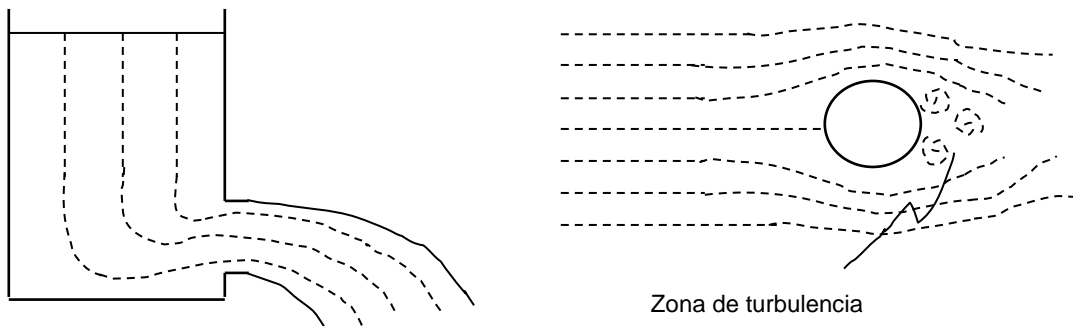
- *Campo de flujo* será definido como cualquier región en el espacio donde hay un fluido en movimiento y todos los espacios o regiones quedan ocupadas por el fluido.
- A partir del origen de un sistema de ejes coordenados se emplea el *vector de posición* (r) para definir el lugar de una partícula en cualquier instante
- *Desplazamiento* es un vector que describe el cambio de posición de la partícula, se define mediante las coordenadas del sistema de referencia.
- La *trayectoria de la partícula* es la curva que describe el camino que la partícula recorre dentro del flujo.
- *Distancia recorrida* es un escalar positivo que representa la longitud total de la trayectoria recorrida por la partícula.
- La *velocidad de la partícula* (v) es la rapidez temporal del cambio en su posición, esta puede ser lineal o angular dependiendo de la trayectoria de la partícula. La velocidad es un vector tangente a cada punto de la curva que describe la trayectoria.
- La partícula también sufrirá una *aceleración* (lineal o angular), la cual se define como la variación temporal de la velocidad en este punto. La aceleración no tiene necesariamente orientación coincidente con la trayectoria de la partícula.
- La *rotación* es una magnitud cinemática y evalúa el giro local de la partícula, es una medida de la también llamada *vorticidad* de la partícula dentro del flujo.

Visualización de flujos

Antes de la descripción matemática o cuantitativa del movimiento de los fluidos, la Hidrocinemática debe elaborar la descripción cualitativa, y para ello es necesario *ver* como se mueven los fluidos. Ya Galileo mencionaba que era más fácil entender el movimiento de las estrellas en el cielo, que el del agua en el arroyo que corría a sus pies. O sea que el asunto no es trivial, y es que hay una gran variedad de formas en que se mueven los fluidos, por ejemplo un mismo líquido como el agua presenta un movimiento muy diferente cuando escurre por la cuchara que sacamos de un vaso, cuando circula por una tubería, cuando se despeña en una cascada o cuando se encrespa en una ola.

Para observar estos movimientos tan diversos, se han desarrollado experimentalmente una variedad de técnicas y su sustento teórico.

Por ejemplo, se puede inyectar, mediante agujas, fluidos de la misma densidad pero coloreados para poder ver las trayectorias de las partículas, estos fluidos se llaman trazadores:



Patrón de flujo en un recipiente vaciándose y alrededor de un cilindro sumergido.

También se puede arrojar pequeños flotadores para que sean arrastrados por la corriente y nos muestren de una forma aproximada como se mueve el conjunto de partículas, es decir el “*patrón de flujo*”.

Métodos de análisis:

Cuando describimos el movimiento de **una partícula o un cuerpo rígido**, lo que hacemos es *determinar las ecuaciones vectoriales de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo*:

$$\mathbf{s} = \mathbf{f}(t); \quad \mathbf{v} = \mathbf{f}'(t); \quad \mathbf{a} = \mathbf{f}''(t)$$

De manera que para un tiempo t cualquiera, podemos conocer las condiciones del movimiento, esto es: la posición que ocupa, la velocidad y la aceleración que lleva en ese instante; o sea que conocemos toda “la historia”, por así decirlo, de *la partícula*. A este enfoque se le conoce como “**lagrangiano**” en honor de Lagrange.

Si se utiliza el método **lagrangiano** se puede adjuntar dispositivos medidores a diferentes partículas del fluido y obtener las características de cada una conforme se va moviendo. Entonces se obtienen las características de la partícula en función del tiempo y solo si la posición de la partícula es conocida en función del tiempo, estarán dadas también en función de la posición.

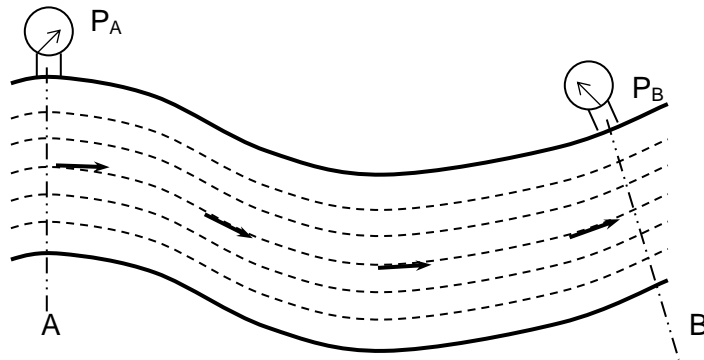
Sin embargo, si pretendemos usar este enfoque para describir los movimientos de un número extremadamente grande de partículas, la mayoría de las veces indefinido, (∞), y con movimientos caóticos, como el que ocurre en un río o torrente bajando entre las piedras de su cauce natural, nos encontraremos con que resulta prácticamente imposible seguir la trayectoria y todas las características cinemáticas (posición, desplazamiento, velocidad, aceleración, etc.) de cada una de las partículas durante el tiempo del estudio.

Por ello se desarrolló un enfoque alternativo conocido como **Euleriano**, que consiste en definir una porción fija del espacio, que puede ser una superficie, o un volumen, denominados “*de control*”. A través de ellos circula el fluido y se miden, *en ese lugar*, las variables o características más importantes *del flujo*, es decir *del conjunto de partículas* (y no de cada una).

Elegida la posición de la superficie o volumen de control, las características cinemáticas estarán dadas en función del tiempo. Usando el método **Euleriano** se instalan los dispositivos de medición en un punto y se obtienen las características del flujo en ese punto como función del tiempo. En diferentes tiempos existirán diferentes partículas pasando el volumen o superficie de control.

Para ilustrar lo anterior estableceremos la siguiente analogía: Imaginemos una autopista o carretera de cuota, que presenta características similares a un conducto (tubería, canal o cauce), el tránsito; o flujo vehicular representa al fluido y su flujo. Los autos y camiones semejan a las partículas de fluido. Ubicadas estratégicamente están las casetas de cobro que son análogas a las secciones de control: fijas en el espacio y a través de las cuales pasa (o fluye) la masa y la energía, es decir el tránsito.

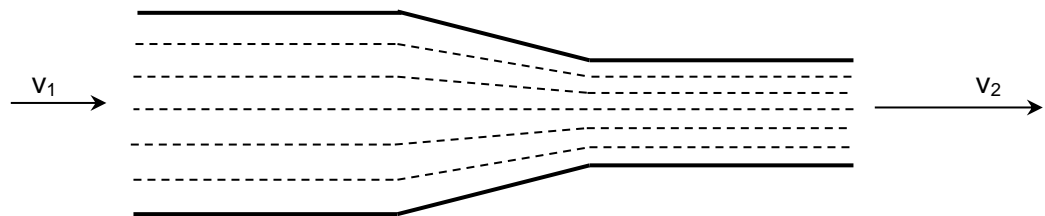
Bien, en estas condiciones se puede obtener información muy valiosa mediante el control que se ejerce en las casetas. Por ejemplo, podemos saber la cantidad de automóviles que pasan al día, y como cambia esta cantidad de un día a otro de acuerdo a las temporadas del año, (días normales, vacaciones, etc.); así podremos evaluar cuando es conveniente ampliar la carretera construyendo un carril adicional. También podremos saber el tipo de vehículos que circulan, podremos conocer el tiempo que en promedio tardan los diferentes *tipos de vehículos* en recorrer la distancia que separa una caseta de la siguiente, etc. Es decir podemos determinar *características del flujo vehicular* (del conjunto de los vehículos) más que de algún vehículo en especial. Pensándolo bien, no nos interesa la velocidad que un auto en particular lleva en cada momento, y menos la de todos los autos en todos los instantes, (eso sería utilizar el enfoque lagrangiano). Para averiguar lo anterior, tendríamos que poner un vigilante (humano o automático) que siguiera a cada una de los vehículos que transitan por la carretera, y la cantidad de información no solo sería gigantesca sino, principalmente, ¡poco práctica!



La velocidad es tangente a las líneas de corriente.

En la figura se representa una tubería con un par de curvas. En las secciones de control A y B se han colocado unos manómetros para medir la presión, también se podrían colocar otros medidores para obtener la velocidad, la temperatura, u otras características que fuesen importantes. *Es conveniente resaltar que estas características son "promedio", es decir, se consideran representativas de las que existen en la sección escogida y en el instante en que se realizó la medición.*

Las líneas punteadas representan a la **líneas de corriente**, que son líneas en las cuales el vector velocidad es tangente en cada punto. En la carretera podrían estar representadas por los carriles, y aunque algunos autos en lo particular se cambian de carril, en general la forma de los carriles representa al flujo es decir la manera en cómo se mueven la generalidad de los coches. Forzando un poco la analogía podríamos pensar que el ancho de los carriles podría darnos información sobre la velocidad del tránsito. En efecto. Carriles anchos nos permiten circular a gran velocidad, carriles angostos nos obligan a circular más lentamente. En el caso de las líneas de corriente sucede lo contrario, cuando la distancia entre ellas es grande, la velocidad del flujo es pequeña, y cuando se acercan significa que la velocidad aumenta en esa zona



La velocidad aumenta al estrecharse el conducto, las líneas de corriente se acercan sin tocarse

El dibujo de un conjunto de líneas de corriente proporciona una *imagen de la corriente o campo de flujo*.

Cuando se trazan líneas de corriente a través de una curva cerrada, estas forman un límite a través del cual no pueden pasar las partículas debido a que la velocidad siempre es tangente al límite así formado

El espacio entre las líneas de corriente forma un tubo o pasaje denominado **Tubo de corriente**, y este tubo se puede estudiar como si estuviera aislado del fluido adyacente. El uso del concepto de tubo de corriente permite la aplicación de los principios de la mecánica de fluidos de una manera más versátil, al permitir estudiar con las mismas ecuaciones problemas que aparentemente tienen poco en común, tales como el flujo en un conducto y el flujo alrededor de un objeto sumergido. También porque un tubo de corriente de tamaño diferencial coincide con su eje que es una línea de corriente, así es de esperarse que la mayoría de las ecuaciones válidas para un tubo de corriente diferencial lo sean también para una línea de corriente.

El punto de vista **euleriano** es un enfoque práctico que permite solucionar muchos de los problemas ingenieriles de la mecánica de fluidos.

Concepto de gasto.

Una de las características o aspectos importantes de todo fenómeno hidráulico es la cantidad de líquido, o fluido, que interviene. Para dar cuenta de este aspecto se puede recurrir al concepto de **Volumen V**; sin embargo debemos percatarnos que este concepto es esencialmente estático, y como los fenómenos hidráulicos son cambiantes (como la propia realidad), el concepto de volumen resulta limitado.

Para ilustrar lo que queremos plantear, utilizaremos una analogía: Consideremos una cantidad de dinero K que nos van a dar o que ya tenemos...

Aunque la idea es agradable, si reflexionamos un poco nos daremos cuenta que esa cantidad, aunque sea grande, se terminará tarde o temprano. Nos resultaría de mayor provecho si ganáramos una cantidad C, aunque sea menor que K, pero *cada determinado lapso de tiempo*, por ejemplo una vez al mes, o mejor aún una vez cada quincena o cada semana. Es claro que la "misma" cantidad, digamos \$10 000.00, adquiere un significado completamente diferente si la obtenemos por única ocasión, si es lo que ganamos durante un año, o cada mes, cada semana o cada día.

El diferente significado resulta porque estamos involucrando al *tiempo*. De manera que es tan importante cuanto ganamos, como el lapso de tiempo que empleamos en hacerlo. Dicho de otra manera que tan seguido ganamos esa cantidad de dinero.

De manera similar, para satisfacer nuestras necesidades requerimos una cierta cantidad (o volumen) de agua **al día**. De manera que es más importante el volumen en relación con el tiempo, que el volumen por sí solo. Entonces definimos al

Gasto Q

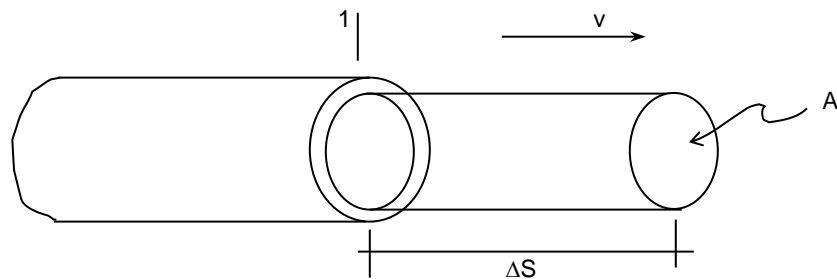
Como el cociente del volumen que circula por un conducto entre el tiempo durante el cual circula. Dicho de otra manera es el volumen por unidad de tiempo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Las unidades del gasto son unidades de volumen entre unidades de tiempo: m^3/s en los MKS, tanto técnico como absoluto; ft^3/s en el inglés; fuera de sistema se pueden usar; lt/s , gal/s , lt/min , $lt/día$, etc.

Como vemos el gasto es una cantidad cinemática porque en su definición no involucra ni a la masa ni a la fuerza. Por cierto, también se le llama **régimen de flujo, descarga, caudal, régimen de flujo volumétrico o gasto volumétrico**.

Consideremos ahora una tubería por la que circula un fluido con un gasto Q a una velocidad v , supongamos que el fluido que pasa a través de la sección 1 mantiene la forma cilíndrica, (quizá porque las paredes del tubo sean transparentes a partir de esa sección o porque el flujo es muy cohesivo, como la pasta de dientes).



En la definición de gasto $Q = V / t$ podemos sustituir el volumen por $V = A \Delta S$
 Entonces: $Q = A \Delta S / t = A v$

Es decir: $Q = \frac{V}{t} = A v$

Siendo v la velocidad promedio en toda la sección transversal del conducto.

De manera similar puede definirse el gasto en masa.

Gasto en masa

Es la masa que circula por una sección en la unidad de tiempo

$$Q_m = \frac{m}{t}$$

Como $m = \rho V$

Entonces $Q_m = \frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t} = \rho Q$

También puede definirse el gasto en peso.

Gasto en peso

Es el peso que circula por una sección en la unidad de tiempo

$$Q_w = \frac{w}{t}$$

Como

$$w = \gamma V$$

Entonces

$$Q_w = \frac{w}{t} = \frac{\gamma V}{t} = \gamma Q$$

En algunos casos la velocidad del flujo en conductos debe encontrarse dentro de un rango; es decir debe ser mayor o igual a cierta velocidad mínima para evitar que sólidos suspendidos se asienten e incrusten en el fondo y las paredes, modificando la rugosidad y reduciendo el área hidráulica (el área ocupada por el flujo), también debe ser menor o igual a una cierta velocidad máxima para evitar erosión en las paredes del conducto.

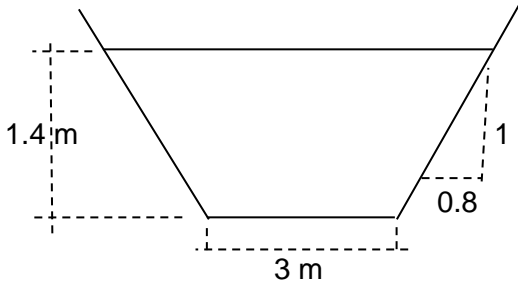
Ejemplo 3.1. Que diámetro debe tener una tubería para que con una velocidad de 3 m/s se conduzcan 250 lt/s.

Solución:

$$Q = Av = \frac{\Pi D^2}{4} v$$

Despejando

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\Pi v}} = \sqrt{\frac{4(0.25)}{3\Pi}} = 0.326m$$

<p>Ejercicio 3.1. Encontrar el caudal que circula por el canal trapecial mostrado si la velocidad del agua es 1.2 m/s. Tirante $h = 1.4$ m Ancho de plantilla $b = 3$ m Talud $t = 0.8/1$</p> <p>Sol. $Q = 6.92$ m³/s</p>	
--	--

Clasificación de los fenómenos fluídicos.

En todos los fenómenos de mecánica de fluidos intervienen tres factores o elementos:

- El **fluido**, o material.
- El **flujo**, su forma de moverse.
- El **conducto**, es decir los **límites** reales o teóricos, esto incluye a los cuerpos sumergidos.

Existen muchos criterios para clasificar a los fenómenos hidráulicos, o fluídicos, si se prefiere un término más moderno. Aquí presentamos los más usuales, lo que nos brindará una panorámica del amplio e interesante campo de la Mecánica de Fluidos.

Tipos de fluidos:

Los fluidos se clasifican según la existencia de varias propiedades.

Desde el punto de vista de la **compresibilidad** los fluidos se clasifican en:

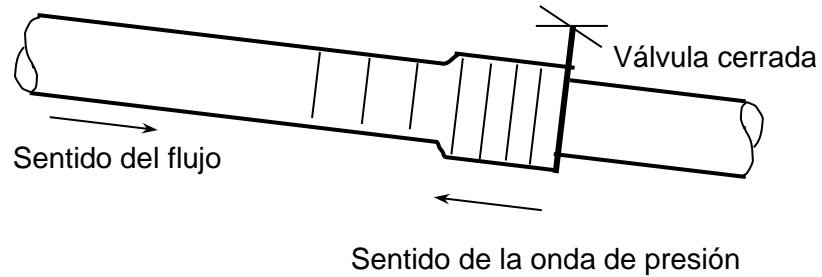
- **Compresibles:** Aquellos que presentan cambios de volumen y de densidad ante cambios de presión.
- **Incompresibles:** Son los que no presentan cambios de volumen ni densidad ante cambios de presión.

En general se considera que los *gases son compresibles* y que los *líquidos son incompresibles*, lo cual es correcto en la mayoría de los casos, pero cuando un gas se mueve a baja velocidad con pequeñas variaciones de presión y temperatura, puede considerarse como incompresible, lo que simplificará el cálculo sin introducir graves errores. Por otro lado cuando un líquido está sujeto a grandes cambios de presión puede resultar conveniente considerarlo como un fluido compresible, tal es el caso del *golpe de ariete*.

El **golpe de ariete** es un fenómeno oscilatorio que ocurre en las tuberías cuando se cierra o se abre bruscamente un válvula. Para describir el fenómeno primero recurriremos a una analogía. Imaginemos el tren subterráneo o “metro” viajando a gran velocidad y que por algún motivo se detiene bruscamente. ¿Qué pasa con las personas dentro de un vagón?. Con la “imaginación en cámara lenta” podemos “ver” que las personas continúan moviéndose hacia delante con la misma velocidad. Las que están al frente del vagón chocan con la parte delantera de este, en seguida son aplastadas por las siguientes personas, y después llega un tercer grupo de personas y también se impacta con las de enfrente y así sucesivamente. Con cada “capa” u oleada de personas, la presión aumenta en la capa anterior, pero como siguen llegando más personas, la zona de alta presión se va haciendo más grande recorriéndose hacia atrás.

Imaginemos ahora una masa líquida moviéndose a gran velocidad por una tubería. Si de pronto ocurre un cierre brusco de válvula, la primera capa de líquido se impactará con la compuerta de la válvula, aumentando la presión en esa zona, la siguiente capa de líquido se impactará con la capa anterior incrementando la presión, y así sucesivamente con toda la masa de líquido de manera que el incremento de presión viaja como una onda en sentido contrario al flujo hasta el extremo de la tubería opuesto a la válvula, donde por lo general hay un tanque o depósito. Al llegar ahí la onda de presión choca con la masa de agua y se refleja.

Este incremento de presión puede ser tan grande que llega a reventar a las tuberías, razón por la cual deben protegerse con un buen diseño y mediante dispositivos de alivio como las válvulas de sobre-presión y las cámaras de oscilación.



Golpe de Ariete. La onda de presión viaja en sentido contrario al flujo. Si la tubería es elástica la deformación avanza junto con la onda de presión.

Desde el punto de vista de la **viscosidad** los fluidos pueden considerarse:

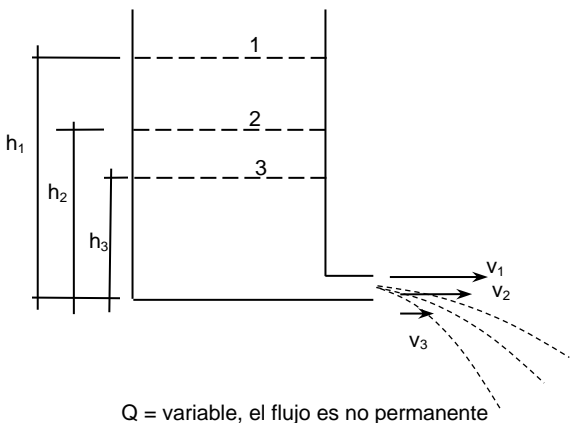
- **Viscosos o reales:** Son aquellos fluidos que poseen viscosidad, esto implica que presentan resistencia ante los esfuerzos cortantes y por lo tanto se presentan pérdidas de energía durante el flujo.
- **No viscosos o ideales:** Son aquellos que se supone no presentan viscosidad ni pérdidas de energía.

En realidad todos los fluidos son viscosos, sin embargo considerarlos como ideales permite simplificar los cálculos, y es válido en fluidos de poca viscosidad moviéndose lentamente en tramos cortos y de geometría sencilla; es decir de manera que haya pocas pérdidas de energía.

Tipos de flujos.

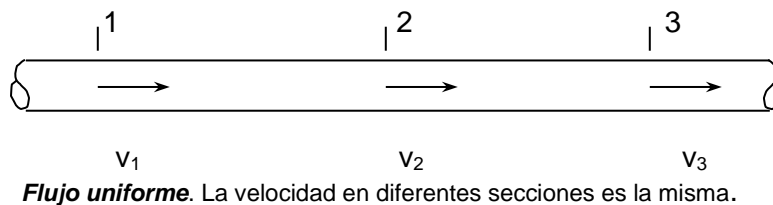
Las formas en que los fluidos se mueven se clasifican atendiendo a muy diversos criterios. Desde el punto de vista del comportamiento de las variables del flujo conforme transcurre **el tiempo** en un lugar determinado, (sección o volumen de control) los flujos se clasifican en:

<p>Flujo permanente. Aquel cuyas variables, presión, velocidad, etc. no cambian al transcurrir el tiempo. Ejemplos de este tipo de flujo se encuentran en tuberías y canales en los que la válvula o compuerta se mantiene con una misma abertura.</p> <p>En la fig. un tanque se vacía por un lado pero se llena por otro, de manera que el nivel del agua permanece constante al transcurrir el tiempo, entonces el flujo en la tubería de salida es permanente.</p>	<p>Si $Q_1 = Q_2$ $H = \text{Cte. en el tiempo}; Q_2 = \text{Cte. en el tiempo}$ El flujo es permanente</p>
---	---

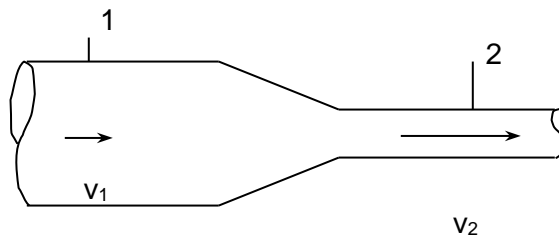
<p>Flujo no permanente. Aquel cuyas variables, presión, velocidad, etc. Cambian al transcurrir el tiempo. Ejemplos de este tipo de flujo se encuentran en tuberías y canales en los que la válvula o compuerta se abre o se cierra durante el tiempo considerado, de manera que el gasto es variable. Esta es la característica típica de los flujos no permanentes.</p> <p>En la fig. Un tanque se vacía, por lo que el nivel del agua cambia al transcurrir el tiempo. Por lo mismo cambian la velocidad de salida y el gasto.</p>	 <p>$Q = \text{variable, el flujo es no permanente}$</p>
---	---

Desde el punto de vista del comportamiento de las variables del flujo **en el espacio**; es decir, de un lugar a otro, en un tiempo dado los flujos se clasifican en:

Flujo uniforme. Aquel cuyas variables, presión, velocidad, etc. Permanecen constantes en diferentes secciones de control en un instante determinado. El ejemplo más claro de un flujo uniforme lo tenemos en una tubería recta de sección constante, en donde, de un lugar a otro las variables del flujo no cambian.



Flujo no uniforme. Aquel cuyas variables, presión, velocidad, etc. Cambian de un lugar a otro en un instante dado. Un ejemplo de este tipo de flujo sucede cuando en el conducto hay un cambio de geometría que produce cambio en los parámetros del flujo de un lugar a otro.



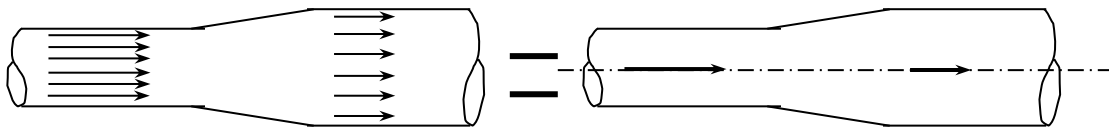
Flujo no uniforme: como el área de la sección 2 es menor que la de la sección 1, la velocidad aumenta, de una sección a otra en el mismo instante (esto también produce cambios en la presión).

Algunos autores utilizan el término “estacionario” para referirse al flujo permanente, y “no estacionario” como sinónimo del no permanente; sin embargo otros usan esos mismos términos para referirse a los flujos uniforme y no uniforme, por esta razón nosotros preferimos no emplear estos términos. Se recomienda revisar la definición dada por cada autor cuando se realice una consulta.

Por el **número de dimensiones** donde ocurre el fenómeno se considera

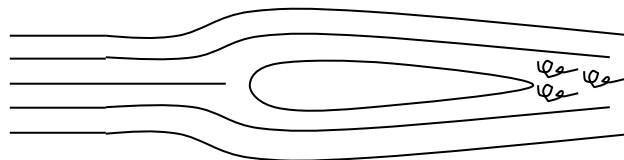
- **Flujo unidimensional**
- **Flujo bidimensional**
- **Flujo tridimensional**

Todos los flujos en la realidad ocurren en tres dimensiones; sin embargo en algunos casos los cambios importantes solo suceden en una dirección, por lo cual se puede simplificar el flujo en términos teóricos llamándole **flujo unidimensional**. Un ejemplo común es el movimiento de un fluido por una tubería en el que la velocidad de cada sección transversal se considera adecuadamente representada por la velocidad promedio, o bien se considera que el perfil de velocidades es uniforme en cada sección:

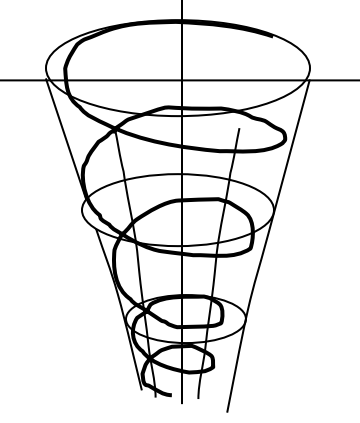


Flujo Unidimensional. La velocidad promedio en el eje representa adecuadamente al flujo.

Un **flujo bidimensional** es aquel en donde las variaciones de velocidad y de otras características se presentan en dos dimensiones. Se supone que el patrón de flujo se repite en la dirección perpendicular al plano representado. Este tipo de flujo se presenta alrededor de objetos sumergidos en una corriente como el ala de un avión o una columna de un puente vista desde arriba



Flujo bidimensional alrededor de un perfil aerodinámico.

<p>Flujo tridimensional.</p> <p>Se considera que un flujo es tridimensional cuando no acepta ninguna de las simplificaciones anteriores, es decir, es indispensable representarlo en tres dimensiones, tal es el caso de los remolinos o vórtices que se presentan en un sumidero.</p>	
--	--

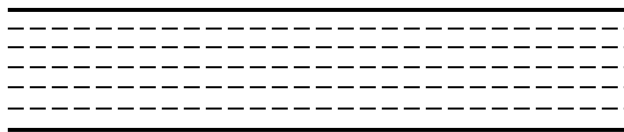
Flujo laminar de transición y turbulento.

Ya se había mencionado cuando estudiamos la viscosidad, que los flujos de los fluidos viscosos se pueden presentar con trayectorias rectas y ordenadas o caóticas con torbellinos y turbulencia. Llamamos **flujo laminar** al primero y **turbulento** al segundo. El estudio detallado de estos flujos fue desarrollado por Reynolds quien descubrió que el comportamiento estaba relacionado no solo con la viscosidad sino también con la velocidad y con el tamaño del conducto. Descubrió que el producto de la velocidad por el diámetro de la tubería entre la viscosidad cinemática daba un número sin unidades (adimensional), que posteriormente se llamó número de Reynolds.

$$\frac{vD}{\nu} = Re$$

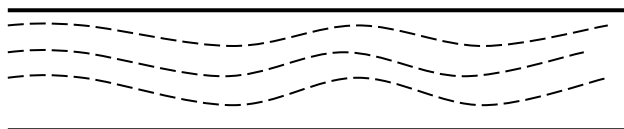
Y que permite identificar de manera cuantitativa el flujo **laminar** del **turbulento**, existiendo además un flujo intermedio al que se llamó de **transición**.

En el **flujo laminar** las trayectorias de las partículas son rectas, paralelas y no existe mezclado. En tuberías ocurre cuando el número de Reynolds se encuentra entre cero y dos mil.



Flujo laminar

En el **flujo de transición** las trayectorias de las partículas son ondulantes, es poco el efecto de mezclado, pero el tipo de flujo es inestable, cualquier vibración puede ocasionar que se transforme en turbulento. En tuberías ocurre cuando el número de Reynolds vale entre 2000 y 4000.



Flujo de transición

En el **flujo turbulento** las trayectorias son caóticas presentándose torbellinos de diferentes tamaños, mucha agitación, y un gran efecto de mezclado. En tuberías se presenta si el número de Reynolds vale más de 4000.



Flujo turbulento. Se observa un gran efecto de mezclado

Otra clasificación se obtiene bajo la consideración del giro de las partículas sobre sí mismas.

<p>Se le llama flujo irrotacional a aquel en que las partículas no giran sobre sí mismas.</p>	
<p>Se llama flujo rotacional cuando las partículas giran sobre sí mismas al desplazarse.</p>	

Por supuesto que la rotación está representada matemáticamente. En este caso se utiliza

Clasificación de los Fenómenos Fluídicos.

Todos los fenómenos de la Mecánica de Fluidos están compuestos por tres elementos: el material o **fluido**, la forma en que se mueve o **flujo** y el **conducto**: los límites sólidos en contacto con el fluido y/o los objetos que se encuentran inmersos en él. Por supuesto esto está interrelacionado.

Por ejemplo, para que el flujo presente variaciones en el espacio, propias del **flujo no uniforme**, el conducto deberá ser de sección variable o presentar algún borde o cuerpo sumergido (que le cambia la sección). Así mismo, la **rugosidad** en las paredes de una tubería, tiene que ver con el comportamiento **laminar, de transición o turbulento**, como se demuestra en el diagrama de Moody.

Desde el punto de vista hidráulico, una tubería no es solo un conducto cerrado, sino uno que trabaja a presión distinta de la atmosférica, de manera que las alcantarillas urbanas se comportan hidráulicamente como canales, aunque estructuralmente o desde el punto de vista de la construcción se les llame tuberías. A continuación se presenta una tabla con las clasificaciones mencionadas anteriormente.

Fluido		Flujo		Conducto	
Criterio	Tipo de fluido	Criterio	Tipo de Flujo	Criterio	Tipo de conducto
Compresibilidad	compresibles	Tiempo	Permanente	Sección	Constante
	incompresibles		No permanente		Variable
Viscosidad	Viscoso o real	Espacio	Uniforme	Rugosidad en las paredes interiores	Liso
	No viscoso o ideal		No uniforme		Rugoso
		Numero de dimensiones	Unidimensional	Elasticidad de las paredes en una tubería	Rígidas
			Bidimensional		Elásticas
			Tridimensional		
		Numero Reynolds $\frac{vD}{\nu} = Re$	Laminar	Presión de trabajo	Tuberías
			De transición		Canales
			Turbulento		
		Por el giro	Rotacional	Permeabilidad de las paredes	Impermeables
			Irrrotacional		Permeables

El siguiente cuadro proporciona algunos ejemplos de fenómenos y su clasificación.

Criterio	Tipo de flujo	Ejemplo
Cambio en el tiempo	Permanente o estacionario	Si un arroyo que fluye lentamente, medimos la velocidad en un punto y en un tiempo dado y una hora después (otro tiempo), medimos la velocidad en ese mismo punto y obtenemos que las dos velocidades medidas son similares.
	No permanente o no estacionario	Las velocidades en el oleaje de las mareas cambiarán en el mismo punto de un momento a otro. El flujo de una tubería alimentada de un tanque elevado con carga variable. (Q variable)
Cambio en espacio	Uniforme	Si analizamos la velocidad de un canal con secciones transversal constante encontramos que el flujo es uniforme, debido a que no hay cambios de velocidad de una sección a otra.
	No uniforme	Cuando un canal está construido con secciones diferentes influirá en las características hidráulicas tales como velocidad y área hidráulica. La variación de la velocidad puede presentarse gradualmente o de manera brusca.
Número de dimensiones	Unidimensional	Si suponemos que la velocidad promedio, en el eje de la tubería, representa adecuadamente la velocidad en todos los puntos de la sección transversal, estaremos considerando como flujo unidimensional.
	Bidimensional	Si analizamos el flujo en un canal y sólo tomamos en cuenta el cambio de la velocidad en el centro del canal y a varias profundidades se estará analizando el flujo en dos planos
	Tridimensional	En un río, la variación de la velocidad en diferentes puntos de una misma sección transversal, es demasiado grande. De manera que se deben hacer mediciones a diferentes distancias de la orilla y a diversas profundidades, definiéndose así una especie de red. Como esto hay que repetirlo en varias secciones transversales, se puede observar la variación de la velocidad en las tres dimensiones.
Viscosidad (Número de Reynolds)	Laminar	Si observamos un cigarro prendido, muy cerca del punto donde "nace" el humo se observa que el humo forma una "línea"
	Transición	Cuando el humo se va alejando, se forman líneas onduladas
	Turbulento	Conforme nos alejamos de la zona donde nace el humo, podemos observar remolinos y volutas mezclándose cada vez más y esparciéndose en el aire.
Cambio en densidad	Compresible	En el fenómeno conocido como " <i>Golpe de Ariete</i> " el líquido se considera compresible. Se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula, o también al disminuir bruscamente el caudal. Debido a que el cierre instantáneo de un paso de agua genera sobrepresión o depresión en la tubería, es necesario considerar el cambio de densidad como resultado del cambio brusco de presión.
	Incompresible	En la mayoría de los estudios de ingeniería hidráulica, el agua es considerada incompresible. Esto elimina variables al momento de hacer el análisis.
Cambio de velocidad angular	Irrotacional	Podemos imaginar una pequeña rueda de paletas sumergidas en el fluido, si la rueda se mueve sin girar, el flujo es irrotacional.
	Rotacional	En los rápidos de un río, cuando una balsa es volteada, esta empieza a dar vueltas sobre su eje.

Cuadro elaborado por el Ing. Rodolfo Granados.