

## Unidad de Aprendizaje N°4:

### Pérdidas de Carga Primarias y Secundarias en Fluidos.

#### Aprendizajes Esperados

1. Evalúa las pérdidas de carga de un fluido que circula por conductos cerrados y su incidencia en la conservación de la energía.

#### 1. OBJETIVOS.

El objetivo de esta actividad es:

- Determinar las pérdidas de cargas por fricción en tuberías, tramos rectos, y accesorios, codos, vueltas, contracciones, expansiones, y otros.

#### 2. ANTECEDENTES GENERALES.

La hidrodinámica, es la ciencia que estudia el fluido en movimiento, basado en los siguientes principios:

- Cuando el líquido llena completamente un conducto de sección transversal circular y ejerce una cierta presión sobre las paredes de la tubería, se dice que el conducto está trabajando como conducto a presión "**Flujo en Tuberías  $\approx$  Flujo a Presión**".
- En otros casos, el líquido que circula puede no llenar completamente el tubo que lo transporta (el líquido estará a la presión atmosférica), entonces se dice que el conducto está trabajando como canal "**Flujo en Canales y/o Alcantarillados  $\approx$  Flujo sin Presión  $\approx$  Flujo por gravedad**".

Estos principios permiten identificar cuando se trata de fuerzas debidas a la fricción y cuando de fuerzas debidas exclusivamente a la acción de la gravedad.

#### Flujo de Fluidos.

El flujo de los fluidos puede ser *permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento, unidimensional, bidimensional o tridimensional y rotacional o irrotacional.*

### Clasificación del Flujo.

El movimiento de los fluidos puede clasificarse de muchas maneras, según diferentes criterios y según sus diferentes características, este puede ser:

#### Flujo Turbulento:

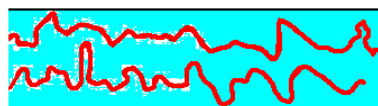
Este tipo de flujo es el que más se presenta en la práctica de ingeniería. En este tipo de flujo las partículas del fluido se mueven en trayectorias erráticas, es decir, en trayectorias muy irregulares sin seguir un orden establecido, ocasionando la transferencia de cantidad de movimiento de una porción de fluido a otra, de modo similar a la transferencia de cantidad de movimiento molecular pero a una escala mayor.

En este tipo de flujo, las partículas del fluido pueden tener tamaños que van desde muy pequeñas, del orden de unos cuantos millares de moléculas, hasta las muy grandes, del orden de millares de pies cúbicos en un gran remolino dentro de un río o en una ráfaga de viento.

Cuando se compara un flujo turbulento con uno que no lo es, en igualdad de condiciones, se puede encontrar que en la turbulencia se desarrollan mayores esfuerzos cortantes en los fluidos, al igual que las pérdidas de energía mecánica, que a su vez varían con la primera potencia de la velocidad.

#### Factores que hacen que un flujo se torne turbulento:

La alta rugosidad superficial de la superficie de contacto con el flujo, sobre todo cerca del borde de ataque y a altas velocidades, irrumpe en la zona laminar de flujo y lo vuelve turbulento.



FLUJO TURBULENTO

Alta turbulencia en el flujo de entrada. En particular para pruebas en túneles de viento, hace que los resultados nunca sean iguales entre dos túneles diferentes.

Gradientes de presión adversos como los que se generan en cuerpos gruesos, penetran por atrás el flujo y a medida que se desplazan hacia delante lo "arrancan".

Calentamiento de la superficie por el fluido, asociado y derivado del concepto de entropía, si la superficie de contacto está muy caliente, transmitirá esa energía al fluido y si esta transferencia es lo suficientemente grande se pasará a flujo turbulento.

#### Flujo Laminar:

Se caracteriza porque el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de

laminas o capas más o menos paralelas entre sí, las cuales se deslizan suavemente unas sobre otras, sin que exista mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas.

La ley de Newton de la viscosidad es la que rige el flujo laminar:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

Esta ley establece la relación existente entre el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación angular. La acción de la viscosidad puede amortiguar cualquier tendencia turbulenta que pueda ocurrir en el flujo laminar.

En situaciones que involucren combinaciones de baja viscosidad, alta velocidad o grandes caudales, el flujo laminar no es estable, lo que hace que se transforme en flujo turbulento.

#### **Flujo Incompresible:**

Es aquel en los cuales los cambios de densidad de un punto a otro son despreciables, mientras se examinan puntos dentro del campo de flujo, es decir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Lo anterior no exige que la densidad sea constante en todos los puntos.

Si la densidad es constante, obviamente el flujo es incompresible, pero sería una condición más restrictiva.

#### **Flujo Compresible:**

Es aquel en los cuales los cambios de densidad de un punto a otro no son despreciables.

#### **Flujo permanente:**

Llamado también **flujo estacionario**. Este tipo de flujo se caracteriza porque las condiciones de velocidad de escurrimiento en cualquier punto no cambian con el tiempo, o sea que permanecen constantes con el tiempo o bien, si las variaciones en ellas son tan pequeñas con respecto a los valores medios. Así mismo en cualquier punto de un flujo permanente, no existen cambios en la densidad, presión o temperatura con el tiempo.

#### **Flujo no Permanente:**

Llamado también flujo **no estacionario**. En este tipo de flujo en general las propiedades de un fluido y las características mecánicas del mismo serán diferentes de un punto a otro dentro de su campo, además si las características en un punto determinado varían de un instante a otro se dice que es un flujo no permanente.

**Flujo uniforme:**

Este tipo de flujos son poco comunes y ocurren cuando el vector velocidad en todos los puntos del escurrimiento es idéntico tanto en magnitud como en dirección para un instante dado o expresado matemáticamente:

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

Donde el tiempo se mantiene constante y  $s$  es un desplazamiento en cualquier dirección.

**Flujo no Uniforme:**

Es el caso contrario al flujo uniforme, este tipo de flujo se encuentra cerca de fronteras sólidas por efecto de la viscosidad

**Flujo Unidimensional:**

Es un flujo en el que el vector de velocidad sólo depende de una variable espacial, es decir que se desprecian los cambios de velocidad transversales a la dirección principal del escurrimiento. Dichos flujos se dan en tuberías largas y rectas o entre placas paralelas.

**Flujo Bidimensional:**

Es un flujo en el que el vector velocidad sólo depende de dos variables espaciales.

En este tipo de flujo se supone que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo de trayectorias que resultan idénticas si se comparan los planos entre sí, no existiendo, por tanto, cambio alguno en dirección perpendicular a los planos.

**Flujo Tridimensional:**

El vector velocidad depende de tres coordenadas espaciales, es el caso más general en que las componentes de la velocidad en tres direcciones mutuamente perpendiculares son función de las coordenadas espaciales  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , y del tiempo  $t$ .

Este es uno de los flujos más complicados de manejar desde el punto de vista matemático y sólo se pueden expresar fácilmente aquellos escurrimientos con fronteras de geometría sencilla.

**Flujo Rotacional:**

Es aquel en el cual el campo rotatorio  $\mathbf{v}$  adquiere en algunos de sus puntos valores distintos de cero, para cualquier instante.

**Flujo Irrotacional:**

Al contrario que el flujo rotacional, este tipo de flujo se caracteriza porque dentro de un campo de flujo el vector rotatorio  $\mathbf{v}$  es igual a cero para cualquier punto e instante.

En el flujo irrotacional se exceptúa la presencia de singularidades vorticosas, las cuales son causadas por los efectos de viscosidad del fluido en movimiento.

### Flujo ideal:

Es aquel flujo incompresible y carente de fricción. La hipótesis de un flujo ideal es de gran utilidad al analizar problemas que tengan grandes gastos de fluido, como en el movimiento de un aeroplano o de un submarino. Un fluido que no presente fricción resulta no viscoso y los procesos en que se tenga en cuenta su escurrimiento son reversibles

### Número de Reynolds ( $Re$ )

El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

Este número recibe su nombre en honor de Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo describió en 1883.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_S \cdot D}{\mu}$$

o equivalentemente por:

$$Re = \frac{V_S \cdot D}{\nu}$$

Donde:

$\rho$  : Densidad del fluido

$v_s$  : velocidad característica del fluido

$D$  : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

$\mu$  : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$  : Viscosidad cinemática del fluido

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$$

Como todo número adimensional es un cociente, una comparación.

En este caso es la relación entre los términos convectivos y los términos viscosos de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos.

Por ejemplo, un flujo con un número de Reynolds alrededor de 100.000 (típico en el movimiento de una aeronave pequeña, salvo en zonas próximas a la capa límite) expresa que las fuerzas viscosas son 100.000 veces menores que las fuerzas convectivas, y por lo tanto aquellas pueden ser ignoradas.

Un ejemplo del caso contrario sería un cojinete axial lubricado con un fluido y sometido a una cierta carga. En este caso el número de Reynolds es mucho menor que 1 indicando que ahora las fuerzas dominantes son las viscosas y por lo tanto las convectivas pueden despreciarse.

Otro ejemplo: En el análisis del movimiento de fluidos en el interior de conductos proporciona una indicación de la pérdida de carga causada por efectos viscosos.

Si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento.

El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Según otros autores:

- Para valores de  $Re \leq 2000$ , el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.
- Para valores de  $2000 \leq Re \leq 4000$ , la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de  $Re \geq 4000$ , después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante (dimensiones de longitud), denominada habitualmente **pérdida de carga**.

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo.

La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluido dinámicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento.

Además de las **pérdidas de carga lineales** (a lo largo de los conductos), también se producen **pérdidas de carga singulares** en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, etc.

### **Pérdidas lineales.**

Las pérdidas lineales son debidas a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen entre el fluido y las paredes de la tubería.

Considerando flujo estacionario en un tramo de tubería de sección constante, las pérdidas de carga se pueden obtener por un *balance de fuerzas* en la dirección del flujo:

$$\text{Fuerzas de presión} + \text{fuerzas de gravedad} + \text{fuerzas viscosas} = 0$$

Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en función de que el flujo sea laminar o turbulento.

En el caso de *flujo* laminar, las diferentes capas del fluido discurren ordenadamente, siempre en dirección paralela al eje de la tubería y sin mezclarse, siendo el factor dominante en el intercambio de cantidad de movimiento (esfuerzos cortantes) la viscosidad.

En *flujo* turbulento, en cambio, existe una continua fluctuación tridimensional en la velocidad de las partículas (también en otras magnitudes intensivas, como la presión o la temperatura), que se superpone a las componentes de la velocidad.

Este es el fenómeno de la *turbulencia*, que origina un fuerte intercambio de cantidad de movimiento entre las distintas capas del fluido, lo que da unas características especiales a este tipo de flujo.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, depende del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir del *número de Reynolds*  $Re$ .

### **Flujo en Tuberías**

En flujo incompresible a régimen permanente por un tubo, las irreversibilidades se expresan en función de las pérdidas de cabeza o caída de la línea hidráulica de altura.

La línea hidráulica de altura está  $p/\gamma$  unidades arriba del centro del tubo y si  $z$  es la altura del centro del tubo, entonces:

$z + p/\gamma$  es la elevación de un punto colocado en la línea hidráulica de altura.

Las pérdidas o irreversibilidades causan que esta línea caiga en la dirección del flujo.

La ecuación de Darcy-Weishbach:

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

Generalmente se adopta para cálculos de flujo en los tubos.

$h_f$  : Es la pérdida de carga o caída en la línea hidráulica de altura en la longitud L del tubo, con diámetro interior D y una velocidad promedio V.

$h_f$  Tiene dimensiones de longitud y se expresa en Lb pie/Lb o N m/N.

El factor de fricción  $f$  es adimensional y se requiere para que la ecuación dé el valor correcto para las pérdidas.

La experimentación muestra que lo siguiente es cierto en flujo turbulento:

1. La pérdida de carga varía directamente con la longitud del tubo.
2. La pérdida de carga varía casi con el cuadrado de la velocidad.
3. La pérdida de carga varía casi inversamente con el diámetro.
4. La pérdida de carga depende de la rugosidad en la superficie de la pared interior del tubo.
5. La pérdida de carga depende de las propiedades de densidad y viscosidad del fluido.
6. La pérdida de carga es independiente de la presión.

### 3. DESARROLLO

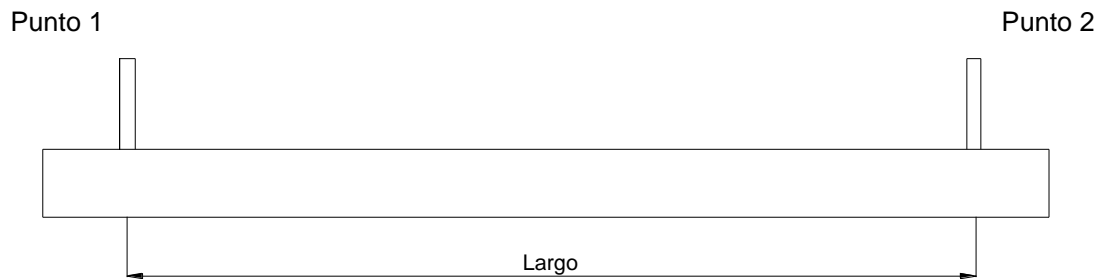
Determinar la pérdida de carga en flujo permanente de fluidos incompresibles a través de tramos rectos de sección constante, mediante la Ecuación de Darcy-Weisbach.

Procedimiento:

- Acondicionar una tubería de cobre, como la mostrada en la imagen.
- Emplear tuberías rectas de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ".
- Conectar con un flexible un extremo de la tubería a una válvula de agua.
- Abrir la válvula en  $\frac{1}{4}$  de vuelta,  $\frac{1}{2}$  vuelta,  $\frac{3}{4}$  de vuelta y totalmente abierta.
- Para cada posición de la válvula determinar la caída de presión.
- Determinar la velocidad promedio, tomado en base a la cantidad de líquido recibido en un recipiente, en la unidad de tiempo.
- Medir el diámetro interno de la tubería y la longitud del tramo de tubería.
- Colocar un manómetro en U, en cada conexión de la tubería en los puntos 1 y 2.



- Medir la pérdida de carga entre dos secciones de la instalación para diferentes valores del caudal circulante y de observar la relación existente entre  $Q$  y  $h_p$ , esta relación es lineal si el flujo es laminar y aproximadamente parabólica si el flujo es turbulento.
- La pérdida de carga se mide con el medidor de presión diferencial del tubo en "U" y el caudal con el caudal tomado en base a la cantidad de líquido recibido en un recipiente, en la unidad de tiempo.
- Determinar la pérdida de carga entre dos puntos de una tubería separados cierta distancia, y sin que exista entre ellos ningún elemento singular.
- Con los valores de  $Q$  y de  $h_p$  se puede calcular el valor del coeficiente de fricción  $f$ , utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.
- Con los valores de  $f$  y de  $Re$  (se puede calcular a partir del caudal), se puede obtener la rugosidad relativa.
- Una vez determinada la rugosidad relativa es posible determinar la rugosidad.



#### **4. EXPRESIÓN DE RESULTADOS.**

Al finalizar la Práctica de Laboratorio, elaborar un informe, que debe contener:

- Tabla de datos de partida obtenidos en el laboratorio y resultados finales.
- Cálculos justificativos necesarios para la resolución de cada objetivo.
- Representación gráfica de los resultados obtenidos.

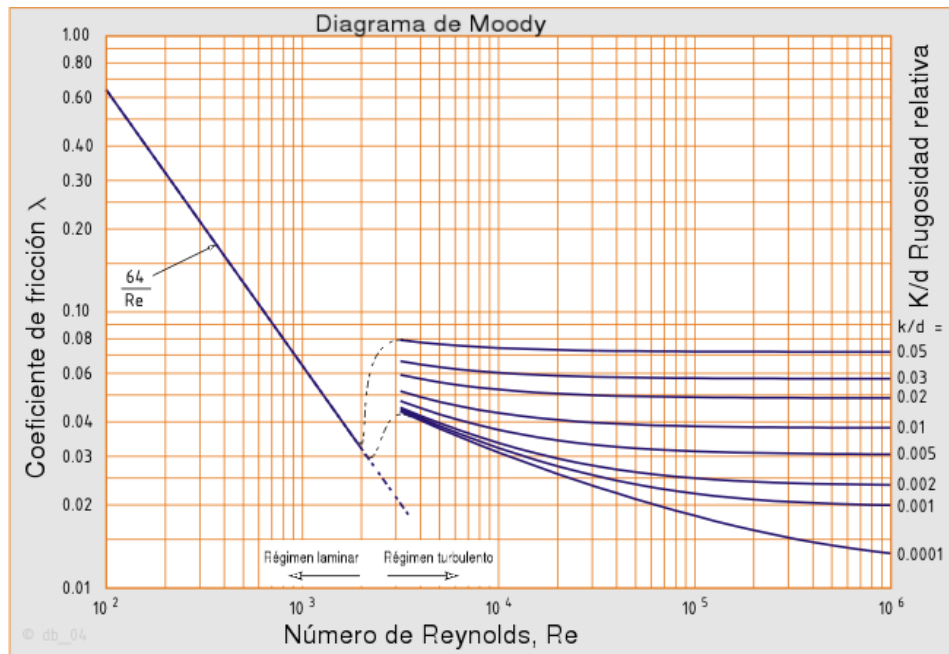
5. INSUMOS

Materiales.	Unidad.	Cantidad.	# Alumnos.
Flexible ½ " HI-HE	u	1	20
Flexible ¾ " HI-HE	u	1	20
Terminal ½" So-HI	U	1	20
Terminal ¾" So-HI	U	1	20
Tubería de Cobre ½"	m	2	20
Tubería de Cobre ¾"	m	2	20

5. EQUIPAMIENTO

Equipos.	CANTIDAD	Nº MAX ALUMNOS
Medidor de presión con columna de agua	6	20
Cronómetro	3	20
Balde 5 L	3	20
Pie de metro 30 cm	3	20

6. ANEXO.



**7. BIBLIOGRAFÍA.**

- Mecánica de Fluidos V. L. STREETER- B. WYLIE 1979 McGraw- Hill
- Mecánica Vol I M. ALONSO y E. J. FINN 1990 Addison- Wesley, Reading, Mass
- Física Universitaria SEARS- ZEMANSKY 1996 Addison- Wesley Iberoamericana
- Fundamentos De Física (Vol. 2) (6ª ED.) FAUGHN, JERRY S. y SERWAY, RAYMOND A.2005 Thomson Paraninfo, S.A. México
- Física General 4ª Edición ANTONIO MÁXIMO ¿ BEATRIZ ALVARENGA 2002Editorial Oxford
- Física, Parte I RESNICK AND HALLIDAY 2004 Editorial CECSA