

# SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA PROCESOS INDUSTRIALES

Mecánica de fluidos, Materiales, Sistemas de Tuberías, Cálculos por presión, Cálculos por flexibilidad, Selección de Soportes, Aislamiento de Tuberías.

Arveng Training & Engineering



Instructor: Javier Tirenti

[www.arvengtraining.com](http://www.arvengtraining.com)

**Índice**

Introducción.....	4
1. Mecánica de fluidos .....	6
1.1) Esgurrimento de fluidos en tuberías .....	6
1.2) Propiedades de los fluidos .....	7
1.3) Flujo de fluidos.....	9
1.4) Conservación de la energía .....	13
1.5) Conservación de la masa .....	14
1.6) Pérdida de carga o presión .....	15
1.7) Cálculo del caudal .....	18
1.8) Pérdida de presión en válvulas y accesorios .....	22
1.9) Derivaciones en sistemas de tuberías.....	33
1.10) Conclusiones pérdida de carga .....	35
2. Sistema de tuberías.....	36
2.1) Códigos aplicables.....	36
2.2) Características constructivas de tuberías .....	42
2.3) Aspectos generales sobre corrosión.....	56
2.4) Propiedades buscadas en un material .....	60
2.5) Temperatura mínima de diseño del metal (MDMT) .....	62
2.6) Equilibrio técnico-económico en la selección.....	63
2.7) Materiales de tuberías.....	65
2.8) Métodos de unión.....	75
2.9) Bridas (Flanges) .....	78
2.10) Accesorios.....	83
2.11) Válvulas.....	85
2.12) Especificación de Tuberías.....	103
3. Cálculo de tuberías .....	104
3.1) Cargas de Diseño.....	104
3.2) Cálculo de tuberías por presión .....	106
3.3) Cálculo de derivaciones en tuberías .....	116
3.4) Dilatación de Tuberías .....	118
3.5) Flexibilidad en sistemas de tuberías .....	121
3.6) Cargas ocasionales .....	139
3.7) Pruebas Hidrostática y Neumática.....	141
4. Arreglo de tuberías .....	143

---

4.1)	Consideraciones básicas sobre “layout” de tuberías .....	143
4.2)	Especificación para el layout de la planta .....	147
4.3)	Arreglo general en planta (Plot Plan) .....	152
4.4)	Pipe racks .....	164
4.5)	Conexión de tuberías a distintos equipos .....	168
5.	Diseño de soportes para tuberías .....	183
5.1)	Generalidades .....	183
5.2)	Cargas en soportes .....	183
5.3)	Funciones básicas de los soportes .....	184
5.4)	Simbología .....	184
5.5)	Localización de soportes .....	187
5.6)	Tipos de soportes .....	190
5.7)	Selección de soportes .....	196
5.8)	Soportes en equipos y estructuras .....	203
6.	Aislamiento de tuberías .....	206
6.1)	Parámetros de selección .....	206
6.2)	Cálculo del aislamiento .....	208
6.3)	Aislamiento Caliente .....	211
6.4)	Aislamiento Frío .....	213
6.5)	Protección del Aislamiento .....	216
6.6)	Instalación del aislamiento - Recomendaciones .....	216
7.	Software de cálculo .....	220
7.1)	Mecánica de fluidos .....	220
7.2)	Cálculo de espesores por presión .....	220
7.3)	Flexibilidad en tuberías .....	220
8.	Bibliografía de referencia .....	221

### Introducción

Un sistema de tuberías es un **conjunto de tubos, conductos cerrados destinados al transporte de fluidos, y sus accesorios.**

La gran mayoría de las tuberías actúa como conductos a presión, es decir, sin superficie libre, con el fluido mojando toda su área transversal, a excepción de los desagües o alcantarillado donde el fluido trabaja con superficie libre, como canales.

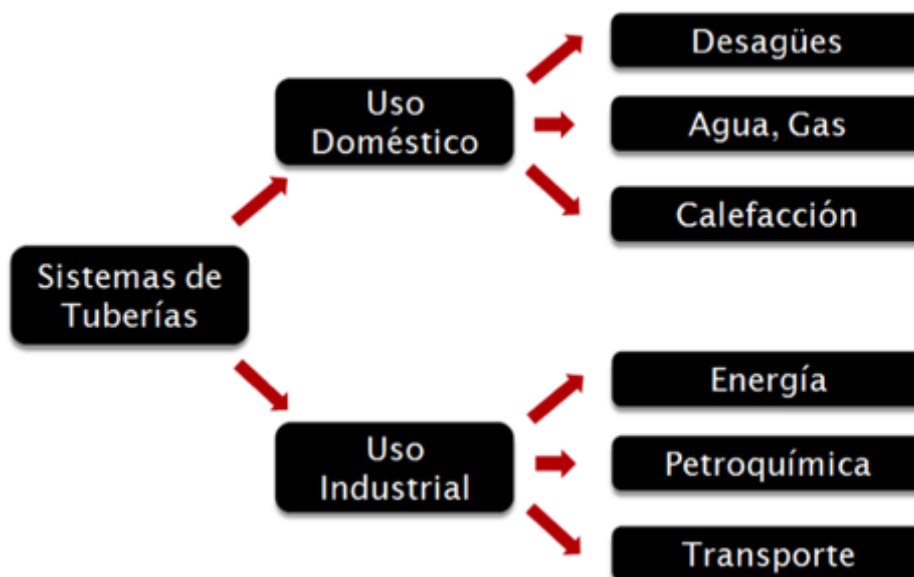
**La necesidad del uso de tuberías surge del hecho de que el punto de almacenamiento o generación de los fluidos se encuentra generalmente distante de los puntos de utilización.**



Su empleo se remonta a la antigüedad, pero su aplicación industrial y fabricación comercial recién se desarrolla a fines del siglo XIX por la necesidad de que los materiales resistieran las crecientes presiones motivadas por la utilización del vapor.

Se usan para el transporte de todos los fluidos conocidos líquidos o gaseosos, para materiales pastosos o pulpa y para los fluidos en suspensión, en toda la gama de presiones que se usan en la industria, desde el vacío absoluto hasta presiones de hasta 400MPa y desde cero absoluto hasta las temperaturas de fusión de los metales.

**Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.** A menos que se indique específicamente, la palabra “tubería” en este estudio se refiere siempre a un conducto cerrado de sección circular y diámetro interior constante.





## 1. Mecánica de fluidos

El dimensionamiento del diámetro de los tubos es casi siempre un problema de hidráulica, resuelto en función del caudal necesario del fluido, de las diferencias de cota existentes, de las presiones disponibles, de las velocidades y pérdidas de carga admisibles, de la naturaleza del fluido y del material y tipo del tubo.

Estos cálculos generalmente son realizados por el equipo de diseño del departamento de procesos. Por este motivo no se incluirán en este curso todos los recursos, curvas, tablas y demás información requerida para este tipo de cálculo, sino sólo los conceptos y algunas fórmulas que deberán ser completadas con bibliografía del tema.

**Mecánica de fluidos, es la parte de la física que se ocupa de la acción de los fluidos en reposo o en movimiento, así como de las aplicaciones y mecanismos de ingeniería que utilizan fluidos.** La mecánica de fluidos es fundamental en campos tan diversos como la aeronáutica, la ingeniería química, civil e industrial, la meteorología, las construcciones navales y la oceanografía.

En algunos casos no es el cálculo hidráulico el determinante del diámetro del tubo, sino otros factores de diseño. Por ejemplo, **en líneas de poca longitud que conectan equipos, es más económico fijar el diámetro por el de las bridas (flanges) de los equipos, simplificando la instalación y economizando accesorios.** También en el caso de diámetros por debajo de 2" es práctico sobredimensionar las líneas, economizando soportes y fundaciones aunque desde el punto de vista hidráulico, algunos diámetros menores sean satisfactorios.

Muy pocos problemas especiales de mecánica de fluidos, como es el caso del flujo en régimen laminar por tuberías, pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales; todos los demás problemas necesitan métodos de resolución basados en coeficientes determinados experimentalmente. Muchas fórmulas empíricas han sido propuestas como soluciones a diferentes problemas de flujo de fluidos por tuberías, pero son muy limitadas y pueden aplicarse sólo cuando las condiciones del problema se aproximan a las condiciones de los experimentos de los cuales derivan las fórmulas.

### 1.1) Escurrecimiento de fluidos en tuberías

**Del escurrecimiento de los fluidos por una tubería, resulta siempre una cierta pérdida de energía, que se gasta en vencer las resistencias que se oponen al flujo,** y que finalmente se disipa en forma de calor. Las resistencias son de dos tipos:

**a) Externas,** resultantes del rozamiento contra las paredes del tubo, aceleraciones y cambios de dirección y la consecuente turbulencia producida.

**b) Internas,** resultantes de rozamiento entre las propias moléculas del fluido, entre sí, llamado viscosidad.

Las resistencias externas son tanto mayores cuanto mayor sea la velocidad del fluido y la rugosidad de las paredes y cuánto menor sea el diámetro. Las resistencias internas serán mayores cuanto mayor sea la velocidad y la viscosidad del fluido. **Esa parte de la energía perdida, llamada "pérdida de carga" (pressure loss) se traduce en una gradual disminución de la presión**

del fluido que va cayendo de un punto a otro en el sentido de escurrimiento (pressure drop).

En el estudio de la transmisión de fluidos se acostumbra a dividir las redes de tuberías entramos, de modo que no se incluya en ninguno de ellos máquina alguna (bomba, compresor, turbina, etc.) capaz de intercambiar trabajo con el exterior, absorbiendo energía del fluido o cediéndola al mismo. De ese modo, la única variación de la energía del fluido se circunscribe entre los puntos extremos de línea y será la producida por la pérdida de carga.

## **1.2) Propiedades de los fluidos**

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión. Valores exactos de las propiedades de los fluidos que afectan a su flujo, principalmente la viscosidad y el peso específico, han sido establecidos por muchas autoridades en la materia para todos los fluidos utilizados normalmente y muchos de estos datos se encuentran en tablas.

### **1.2.1) Viscosidad**

La viscosidad expresa la **facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa**. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La melaza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en comparación con el agua.

Se puede predecir la viscosidad de la mayor parte de los fluidos; en algunos la viscosidad depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos. La tinta de imprenta, las papillas de pulpa de madera y la salsa de tomate, son ejemplos de fluidos que tienen propiedades tixotrópicas de viscosidad. Existe gran confusión respecto a las unidades que se utilizan para expresar la viscosidad; de ahí la importancia de utilizar las unidades adecuadas cuando se sustituyen los valores de la viscosidad en las fórmulas.

### **1.2.2) Viscosidad absoluta o dinámica**

La viscosidad dinámica puede ser definida como el tiempo que tarda una molécula en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. La unidad en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa s) o también newton segundo por metro cuadrado (N s/m<sup>2</sup>), o sea kilogramo por metro segundo (kg/ms).

El poise es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado o de gramos por centímetro segundo. El submúltiplo centipoise (cP), 10m<sup>2</sup> poises, es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica y esta situación parece que va a continuar durante algún tiempo.

El cuadro normalizado por ASTM de temperatura-viscosidad para productos líquidos de petróleo, se usa para determinar la viscosidad Saybolt Universal de un producto de petróleo, a cualquier temperatura, cuando se conocen las viscosidades a dos temperaturas diferentes.

### 1.2.3) Viscosidad cinemática

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo ( $m^2/s$ ). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), 100 stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

Las viscosidades de los fluidos más comunes aparecen en numerosas publicaciones y son realmente fáciles de encontrar. **Se observa que al aumentar la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye, y la viscosidad de los gases aumenta.** El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y la de los gases perfectos es tan pequeño que 'no tiene interés práctico en la mayor parte de problemas para flujo de fluidos.

### 1.2.4) Densidad, volumen específico y peso específico

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el SI es el kilogramo por metro cúbico y se denota por  $\rho$ (Rho):  $\rho = m / v$

Las unidades métricas que se usan son:

gramo por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ )

Kilogramo por metro cúbico ( $Kg/m^3$ )= 1000  $g/m^3$

La unidad correspondiente en el sistema SI para **volumen específico** es el **inverso de la densidad**, es el metro cúbico por kilogramo ( $m^3/kg$ ).

A no ser que se consideren presiones muy altas, el efecto de la presión sobre la densidad de los líquidos carece de importancia en los problemas de flujo de fluidos. Sin embargo, las densidades de los gases y vapores, varían grandemente con la presión. Para los gases perfectos, la densidad puede calcularse a partir de la fórmula:

$$\rho = P / RT$$

La constante individual del gas R es igual a la constante universal para los gases R, = 8314 J/kg-mol K dividida por el peso molecular M del gas,  $8314 / M$  J/kg K R = 8314 / M

Asimismo, el peso específico es el peso por unidad de volumen.

$P_e = P / V$ , donde la relación entre el peso y la masa se establece según:

$P = m \times g$ , donde:

P= peso del cuerpo.

m= masa del cuerpo.

g= es la aceleración de la gravedad.

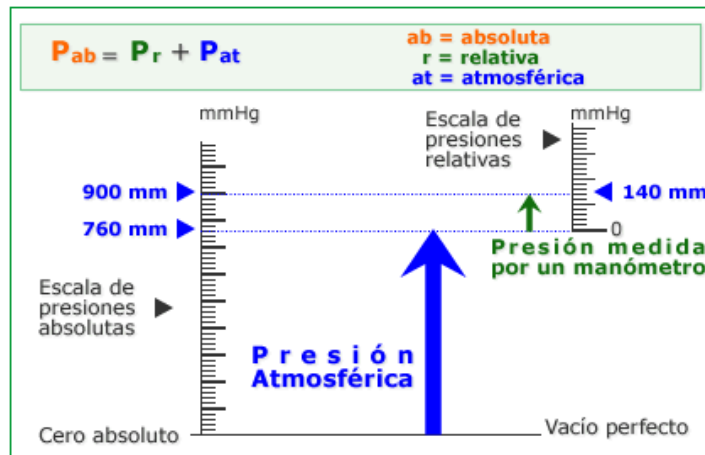
Como la presión tiene un efecto insignificante sobre la densidad de los líquidos, la temperatura es la única variable que debe ser tomada en cuenta al sentar las bases para el peso específico. **La densidad relativa de un líquido es la relación de su densidad a cierta temperatura, con respecto al agua a una temperatura normalizada.** A menudo estas temperaturas son las mismas y se suele utilizar 15.6° C.

S = cualquier líquido a cierta temperatura / agua a 15,6°.



### 1.2.5) Medida de la presión

En la figura se ilustra gráficamente la relación entre las presiones absoluta y manométrica. El vacío perfecto no puede existir en la superficie de la Tierra pero es, sin embargo, un punto de referencia conveniente para la medición de la presión.



Presión barométrica es el nivel de la presión atmosférica por encima del vacío perfecto.

La presión atmosférica normalizada es 1 .01325 bar(14.696 libras/pulg<sup>2</sup>) o 760 mm de mercurio.

La presión manométrica es la presión medida por encima de la atmosférica, mientras que la presión absoluta se refiere siempre al vacío perfecto.

**Vacío es la depresión por debajo del nivel atmosférico.** La referencia a las condiciones de vacío se hace a menudo expresando la presión absoluta en términos de altura de columna de mercurio o de agua.

La presión absoluta, es la suma de la presión barométrica o atmosférica, más la presión relativa o manométrica.

Las unidades utilizadas normalmente son milímetros de mercurio, micras de mercurio, pulgadas de agua y pulgadas de mercurio.

### 1.3) Flujo de fluidos

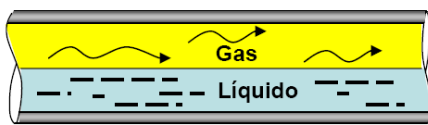
**Todos los fluidos son compresibles, incluyendo los líquidos. El cambio de volumen que experimenta cualquier fluido se desprende de un cambio de densidad,** el cual es el resultado de fluir. Para que un fluido experimente una reducción importante de su volumen, la velocidad del flujo será cercana a la velocidad del sonido.

Estos cambios en la densidad suelen suceder principalmente en los gases ya que para alcanzar estas velocidades de flujo en líquidos se precisa de presiones del orden de 1000 atmósferas, en cambio un gas sólo precisa una relación de presiones de 2:1 para alcanzar velocidades sónicas. **La compresibilidad de un flujo es básicamente una medida en el cambio de la densidad.** Los gases son en general muy compresibles, en cambio, la mayoría de los líquidos tienen una compresibilidad muy baja. Por ejemplo, una presión de 500 kPa provoca un cambio de densidad en el agua a temperatura ambiente

de solamente 0,024%, en cambio esta misma presión aplicada al aire provoca un cambio de densidad de 250%.

En mecánica de fluidos y por cuestiones prácticas, los flujos se clasifican en compresibles e incompresibles, dependiendo del nivel de variación de la densidad del fluido durante ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. **En otras palabras, para la gran mayoría de flujo de líquidos se considerará como fluido incompresible; mientras que para la mayoría de gases se considerará fluido compresible.**

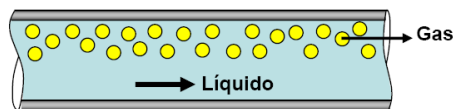
### 1.3.1) Clases de flujo



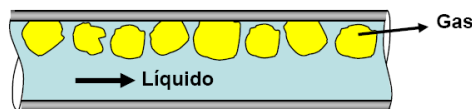
Sería ideal que todas nuestras tuberías transportaran o líquidos, o gases o sólidos en estado puro. La realidad es bastante diferente. En la práctica, muchas veces nos encontramos con fluidos bifásicos o

polifásicos.

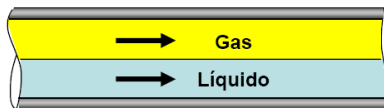
Para el caso de fluidos bifásicos, existen distintas configuraciones. Ellas son:



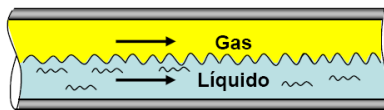
Tipo Burbuja  
(Bubble)



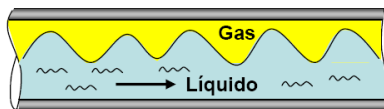
Tipo Tapón  
(Plug)



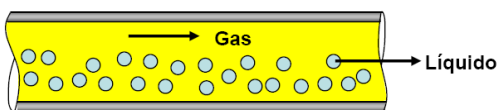
Tipo Estratificado  
(Stratified)



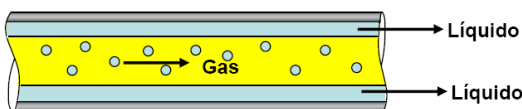
Tipo Ondulante  
(Wavy)



Tipo Marea  
(Slug)



Tipo Rocío  
(Spray)



Tipo Anular  
(Annular)

## **8. Bibliografía de referencia**

Considerando que la disciplina de tuberías es la que alimenta al resto de departamentos, la bibliografía disponible es casi infinita. Asimismo, hay numerosas aplicaciones (excel, flash, etc.) desarrolladas para facilitar principalmente la obtención de datos en el día a día.

Si bien es cierto que ya se han mencionado algunos autores y papers a lo largo de este documento, **en la biblioteca de un buen diseñador no pueden faltar los siguientes títulos:**

- Flow of Fluids, Crane
- Mecánica de Fluidos e Hidráulica, Ronald Giles
- Fluid Mechanics, Egon Krause
- Gas-flow Calculations: Don't Choke. Chemical Engineering, January 2000
- A Tutorial on Pipe Flow Equations. Donald W. Schroeder, August 2001
- Process Piping: The Complete Guide to ASME B31.3 by Dr. Charles Becht
- CASTI Guidebook to ASME B31.3 Process Piping by Glynn E. Woods and Roy B. Baguley
- Design of Piping Systems, Kellogg, John Wiley & Sons Inc
- Process Plant Layout and piping design, Roger Hunt
- The Piping Handbook, by Mohinder L. Nayyar,
- The Piping Guide, Syntek
- Process Piping Design, Gulf Pub Co
- Buried Pipe Design de A.P. Moser
- Rip Weaver, Two Volumes
- Papers written by Arthur R.C. Markl:
  - Piping Flexibility Analysis -1953
  - On the Design of Bellows Elements - A.R.C. Markl, 1964
  - Why Branch Connections Fail - A.R.C. Markl, E.C. Rodabaugh and H.H. George, 1955
- Thermal Insulation Handbook, TIASA.