



## **Capítulo 7**

### **Caídas de presión en tuberías comerciales**

## Caídas de presión en tuberías comerciales

Los problemas de caídas de presión en tuberías pueden clasificarse en tres tipos, a saber:

- 1) Determinación de la caída de presión, para un flujo y un diámetro dados.
- 2) Determinación del flujo o la velocidad que produce una cierta caída de presión en un diámetro dado.
- 3) Determinación del diámetro de la tubería si se da la caída de presión y el flujo.

El **primer tipo de problemas** puede resolverse directamente con las ecuaciones de Darcy,

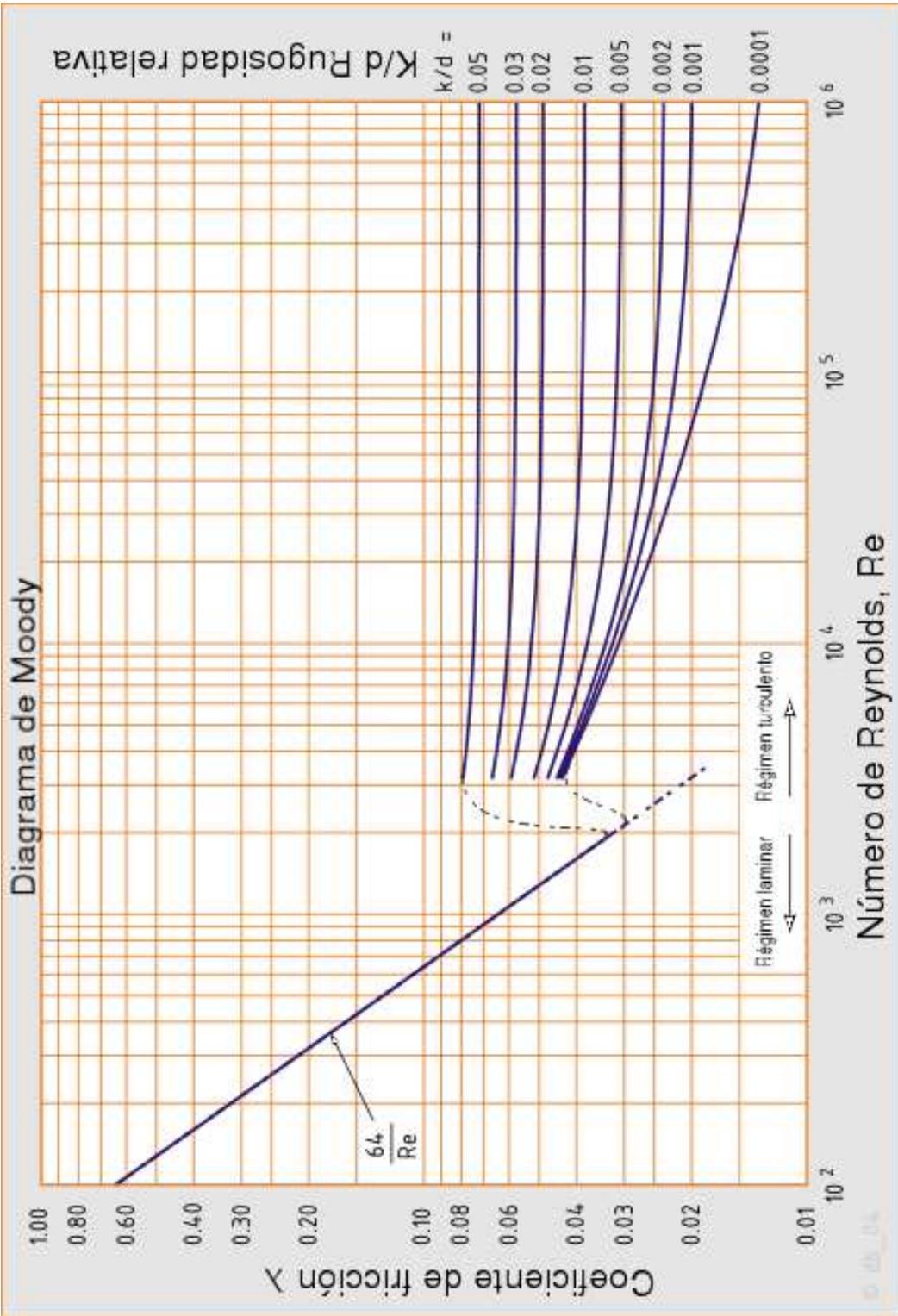
$$\frac{\Sigma F}{M} = h_f = f_D \frac{u^2 L}{2 g_c D}$$

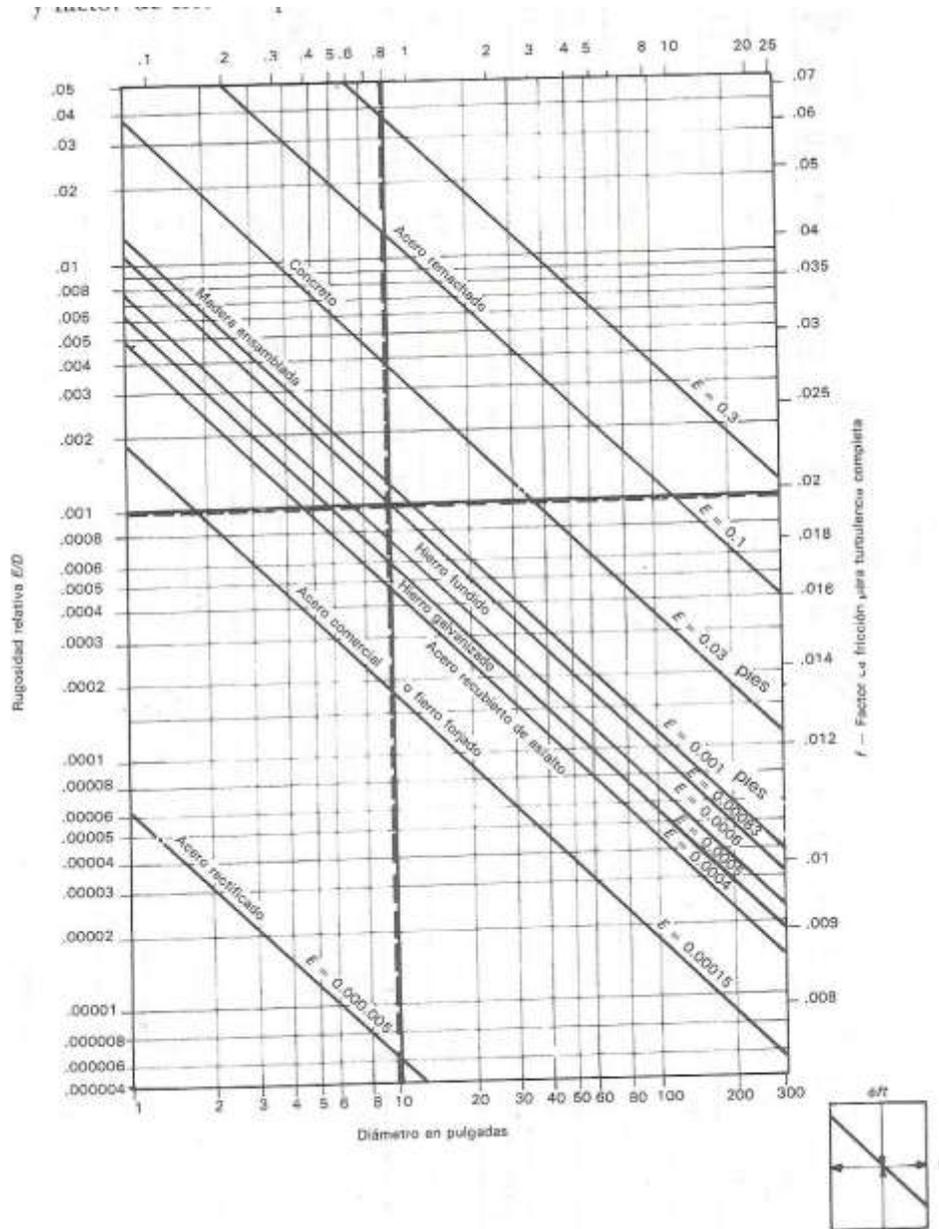
y la evaluación del factor de fricción mediante fórmulas o con la gráfica convencional del factor de fricción que presentó Moody en 1944. En esa gráfica se relaciona el factor de fricción  $f_D$  con el número de Reynolds,

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

Y el factor de rugosidad relativa

$$r = \frac{\epsilon}{D}$$





## Tuberías comerciales

### **Tipos de Tubería:**

Las tuberías están fabricadas de muchos materiales como acero, acero inoxidable, hierro fundido, arcilla vitrificada, cobre y plástico, entre otros. Por otra parte, las presiones y temperaturas de los materiales transportados por las tuberías pueden ser muy altas, de modo que, algunas tuberías se sueldan en sus uniones.

Tuberías de Acero Carbonado: Se usan por encima del nivel de tierra para muchas aplicaciones, además se fabrican con un proceso de forja y barrenado. La tubería de acero es fuerte, se puede soldar y es muy durable. Si la tubería va a

usarse a temperaturas y presiones elevadas, o en ambientes corrosivos, entonces deben utilizarse aleaciones de acero (acero inoxidable).

Tuberías de Hierro Fundido: Son resistentes a la corrosión y se usan para gas, agua y desperdicios. Se emplean en aplicaciones subterráneas a causa de la larga vida del material. Han sustituido a las tuberías de plomo, sobre todo en instalaciones de agua caliente. Son bastante duras y, por lo tanto, difíciles de manipular. Se pueden cortar con sierras para metales.

La acumulación de herrumbre es un problema de las tuberías de hierro. Además, se trata de un material muy poco maleable.

Tubería de Cobre y Aleación de Cobre: Se usan en construcciones residenciales y líneas de instrumentos. Se emplean cuando existe la posibilidad de formación de escamas y óxido si se utilizaran tuberías de acero. Las tuberías de cobre no sufren un deterioro comparable con las de hierro, plomo o PVC. Resisten el calor, la presión y la oxidación.

Tubería de Plástico: Se emplea en construcciones residenciales para desperdicios y agua. Está hecha de cloruro de polivinilo (PVC). El PVC es muy resistente a productos corrosivos, disfruta de un índice de dilatación térmica razonable y los tramos de tubería se unen fácilmente con adhesivos especiales. Su uso se recomienda para tragantes (tuberías por donde se evacua el agua usada), bajantes (tubo principal de desagüe) o sifones ("obstáculos" de la tubería que permiten filtrar objetos que pueden dañar la tubería, e impiden el retorno de malos olores).

El uso de tuberías de PVC es limitado, ya que con altas temperaturas el material puede sufrir alteraciones. Las bajas temperaturas también le afectan negativamente, provocan gran rigidez en el plástico y elevan su sensibilidad a los golpes.

Las tuberías utilizadas para flujo de fluidos están basadas en el número de cédula NPT (nominal pipe Tube) El número de cédula o de catálogo está dado por:

No de cédula =  $1000 (P / S)$

P= presión interna en lb fuerza / in<sup>2</sup>

S = tensión a la ruptura en libras fuerza / in<sup>2</sup>

Estas denominaciones se utilizan para tuberías de acero, acero inoxidable, acero galvanizado y hierro colado. Los datos más importantes de estas tuberías se presentan en la siguiente tabla.

**Apéndice XXXI.** Dimensiones de tuberías de acero normalizadas.

<i>Diámetro nominal (pulgadas)</i>	<i>Diámetro exterior (cm)</i>	<i>Diámetro interior (cm)</i>	<i>Espesor de pared (cm)</i>	<i>Número de catálogo</i>
1/8	1.029	0.683	0.173	40
1/8	1.029	0.546	0.241	80
1/4	1.372	0.925	0.224	40
1/4	1.372	0.767	0.302	80
3/8	1.715	1.252	0.231	40
3/8	1.715	1.074	0.320	80
1/2	2.134	1.580	0.277	40
1/2	2.134	1.387	0.373	80
3/4	2.667	2.093	0.287	40
3/4	2.667	1.885	0.391	80
1	3.340	2.664	0.338	40
1	3.340	2.431	0.455	80
1 1/4	4.216	3.505	0.356	40
1 1/4	4.216	3.246	0.485	80
1 1/2	4.826	4.089	0.368	40
1 1/2	4.826	3.810	0.508	80
2	6.033	5.250	0.391	40
2	6.033	4.925	0.554	80
2 1/2	7.303	6.271	0.516	40
2 1/2	7.303	5.900	0.701	80
3	8.890	7.793	0.549	40
3	8.890	7.366	0.762	80
3 1/2	10.16	9.012	0.574	40
3 1/2	10.16	8.545	0.808	80
4	11.43	10.226	0.602	40
4	11.43	9.718	0.856	80
5	14.13	12.819	0.655	40
5	14.13	12.225	0.953	80
6	16.83	15.405	0.711	40
6	16.83	14.633	1.097	80
8	21.91	20.272	0.818	40
8	21.91	19.368	1.270	80
10	27.31	25.451	0.927	40
10	27.31	24.287	1.509	80
12	32.39	30.323	1.031	40
12	32.39	28.890	1.748	80

**Conexiones de Tubería:**

Las tuberías se unen mediante soldadura, roscado, pegado o por el uso de bridas. El material de la tubería y su tamaño determinan el método de unión. Las tuberías que tienen extremos acampanados requieren de bridas de soporte para su conexión. Las tuberías de plástico se unen con pegamento y solvente.

Conexiones Soldadas: El soldado es la conexión más común utilizada en la industria. Los dos tipos más comunes de soldadura son las de tope y de boquilla.

La primera se usa en tuberías con un diámetro igual o mayor que dos pulgadas, y la unión que se va a soldar será preparada con borde achaflanado para acomodar la soldadura. La segunda se emplea en tuberías con un diámetro igual o menor que dos pulgadas. Los dos tipos de soldadura generan una conexión a prueba de fugas.

Conexiones Roscadas: Las roscas se usan para evitar fugas y unir tuberías en aplicaciones donde las temperaturas y presiones son bajas. Las tuberías con roscas se encuentran en general en las líneas de gas casero. Las conexiones con rosca se utilizan de manera usual en tuberías de acero y bronce con diámetros iguales o menores a 2 pulgadas.

Conexiones con Bridas: Las uniones con bridas son dispositivos utilizados para sujetar tuberías de acero, con un diámetro mayor al de la tubería y se mantiene unida entre sí con pernos. Se usa un empaque para sellar la unión al momento de apretar los pernos.

Como se indicó, los materiales más comunes empleados para la fabricación de las tuberías son: acero, acero inoxidable, aluminio, plomo, cobre, hierro forjado, hierro fundido, latón, plásticos, cemento, cerámica y aún vidrio.

### Velocidades en las líneas

Para evitar sedimentaciones en las tuberías la velocidad mínima generalmente se fija entre 0.25 a 0.4 m/s. Si lo que se transporta tiene materiales en suspensión la velocidad no deberá ser inferior a 0.6 m /s. Para optimizar la vida media de las tuberías, y del costo de bombeo, las velocidades más comúnmente aplicadas en el diseño de tuberías y redes es la siguiente:

<b>Fluido</b>	<b>Velocidad recomendada en m/s</b>
Gases a tiro natural	2 – 4
Gases a presión atmosférica	5 – 20
Líquidos que fluyen por gravedad	0.1 - 0.5
Líquidos en tuberías a presión	0.5 – 2.5
Vapor de agua a presiones mayores de 0.5 atm	15 – 40
Vapor de agua a presiones absolutas entre 0.2 y 0.5 atm	40 – 60
Gases a presión	20- 40

### Dimensiones de las tuberías

Las líneas para transportar líquidos deben escogerse para velocidades de  $(5+D/6)$  ft/s y caídas de presión de:

2.0 psi/100ft de tubo a la descarga de las bombas.

En la succión se deben usar tuberías de  $(1.3+D/6)$  ft/s y caídas de presión de 0.5 psi/100 ft de tubo.

### **Pérdidas en accesorios**

Las pérdidas de presión en los sistemas de conducción no sólo se deben a la viscosidad del fluido y a la fricción contra las paredes de las tuberías, también se producen cuando se encuentran accesorios en las líneas. Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona que se produzca turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se da en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo, producen unas pérdidas de fricción pérdida de presión adicional. Cuando la dirección del flujo se altera o distorsiona, como ocurre en los codos, serpentines en reducciones o ampliaciones, se producen pérdidas adicionales de fricción. Esta energía de fricción causada por los accesorios se disipa en remolinos y en turbulencias adicionales a las del propio fluido y se pierde finalmente en forma de calor. Las pérdidas en los accesorios son proporcionales a la velocidad del fluido. Con frecuencia, esas pérdidas se pueden evaluar mediante tablas de datos basados en experimentos.

### **Accesorios de Tuberías:**

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que, unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado, forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso. Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar: Bridas, Codos, Tés, Reducciones, Cuellos o acoples, Válvulas, Empacaduras, Tornillos y Niples. Entre las características se encuentran: tipo, tamaño, aleación, resistencia, espesor y dimensión.

Bridas: Son accesorios para conectar tuberías con equipos (Bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece

a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado. Existen varios tipos: Brida con cuello para soldar, Brida con boquilla para soldar, Brida deslizante, Brida roscada, Brida loca con tubo rebordeado, Brida ciega, Brida orificio, Brida de cuello largo para soldar, Brida embutible, Brida de reducción.

La ventaja de las uniones bridadas radica en el hecho de que por estar unidas por espárragos, permite el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento.

Discos Ciegos: Son accesorios que se utilizan en las juntas de tuberías entre bridas para bloquear fluidos en las líneas o equipos con un fin determinado. Los discos ciegos existen en diferentes formas y tamaños, los más comunes son: Un plato circular con lengua o mango, Figura en 8, Bridas terminales o sólidas.

Codos: Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la prefabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son: Codos estándar de 45°, Codos estándar de 90° y Codos estándar de 180°.

Tés: Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y Schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería. Entre los tipos de té se citan: Diámetros iguales o te de recta, Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

Reducciones: Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.

Válvula: Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta de flujo (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos.



Para evaluar las pérdidas de presión adicionales que se producen con los accesorios se propusieron diversas fórmulas para el cálculo de las pérdidas de carga por frotamiento, cuando los fluidos circulan en curvas, accesorios, etc. Pero el método más sencillo es considerar cada accesorio o válvula como equivalente a una longitud determinada de tubo recto. Esto permite reducir las pérdidas en los tubos, las válvulas o accesorios a un denominador común: la longitud equivalente del tubo de igual rugosidad relativa.

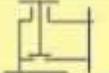
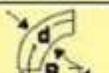
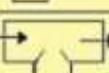
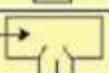
La longitud equivalente es aquella longitud de tubo recto, del mismo diámetro y rugosidad que causaría una caída de presión igual a la que causa un accesorio dado cuando por él pasa un fluido a una velocidad dada.

Las longitudes equivalentes vienen en gráficas o en tablas. De acuerdo con esto, las pérdidas de fricción totales en un sistema (causadas por la viscosidad y por los accesorios) serían:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = f_D \frac{u^2(L + Leq)}{2gcD}$$

En donde L es la longitud del tubo.

Leq es la longitud equivalente de los accesorios.

Longitud equivalente de tubería en metros											
Componentes	Diámetro interior de tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola abierta 100% 	0.3 5	0.5 8	0.5 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válv. diafragma abierta 100% 	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válv. angular abierta 100% 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R=2d 	0.3	0.5	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R=d 	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90° 	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T, salida en línea 	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T, salida angular 	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	16	18	24
Reductor 	0.5	0.7	1.0	2.0	2.6	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.8

Apéndice XXVI. Longitudes equivalentes (expresadas en metros de tubería rectilínea)

Diámetro D mm	Codos		Curvas		Entradas		Tubo de		Tubo de		Tubo de		Tubo de		Tubo de				
	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°			
15	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9
125	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	3.4	4.3	4.9	2.5	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

\* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

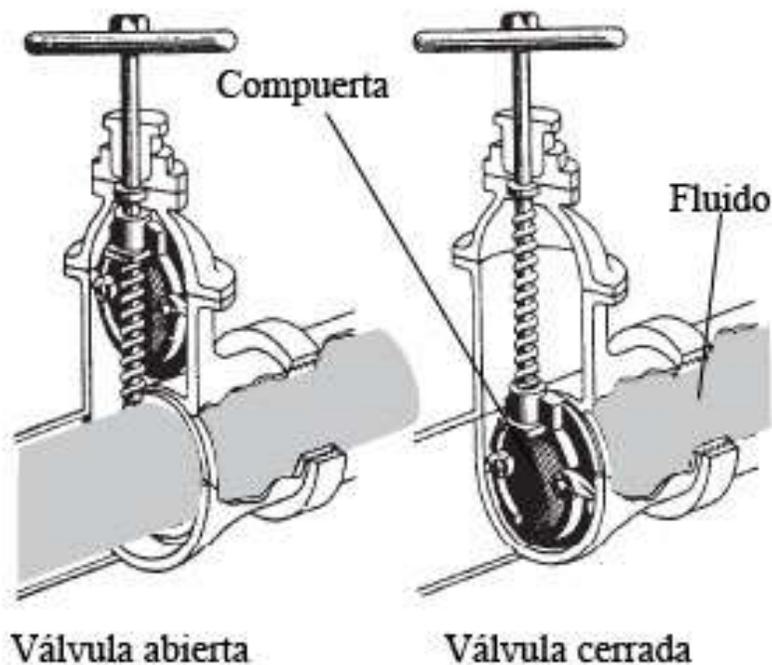
Fuente: Alvarez, Manuel de hidráulica, Harla, México, 1975.

Algunos accesorios tales como son las uniones (bridas, coples, niples, soldaduras) no causan pérdidas de presión,

Entre los accesorios que más caídas de presión o de carga producen están las válvulas que nos sirven para controlar el paso y la cantidad de fluido que pasa por una conducción.

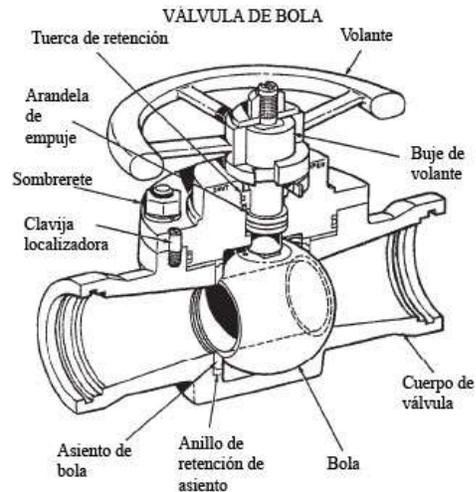
### Válvula de compuerta

Su misión principal es impedir que circule el líquido, de manera que el órgano de cierre ocupa toda la sección de conducción. También se pueden utilizar para regular de forma aproximada el flujo de fluidos. Cuando está abierta el fluido no experimenta ni pérdida de presión ni cambio de velocidad. El órgano de cierre se mueve verticalmente gracias a un eje y un volante. Son las más adecuadas para cerrar completamente una conducción.



### *Válvula de bola y troncocónicas:*

El órgano de cierre es una bola o un tronco de cono con una perforación de igual de sección que la conducción. El movimiento completo es un cuarto de vuelta, de donde se pasa de una circulación libre sin impedimentos a un cierre total. Estas válvulas no se pueden utilizar a temperaturas elevadas



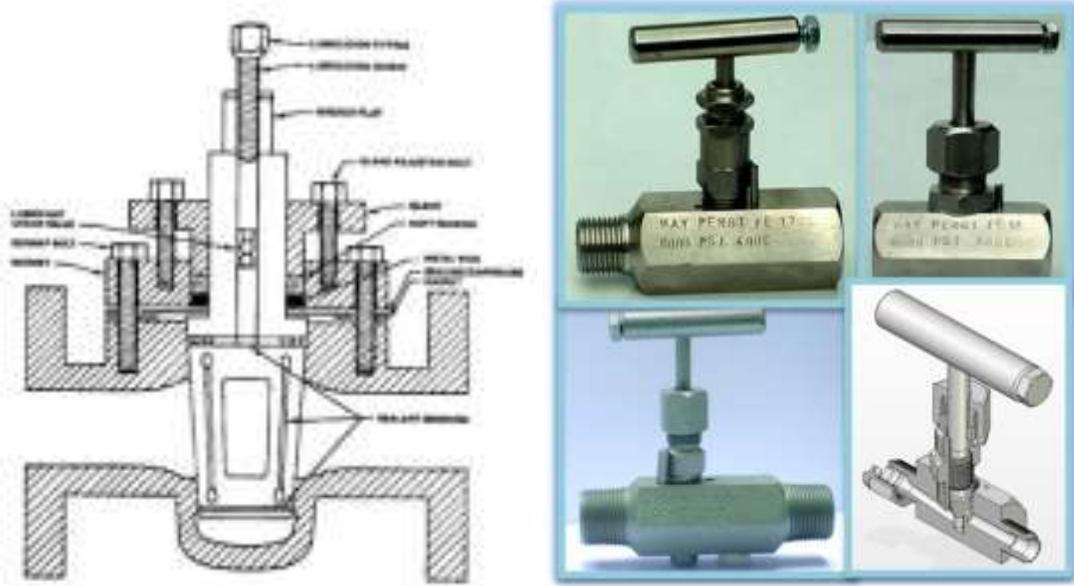
*Válvula de mariposa:* el órgano de cierre es un disco de igual sección que la conducción que gira alrededor de su diámetro (horizontal o vertical) accionado por un eje que sale al exterior. Esta válvula se emplea sobre todo para el control de gases y vapores.



### Válvula de asiento o de aguja

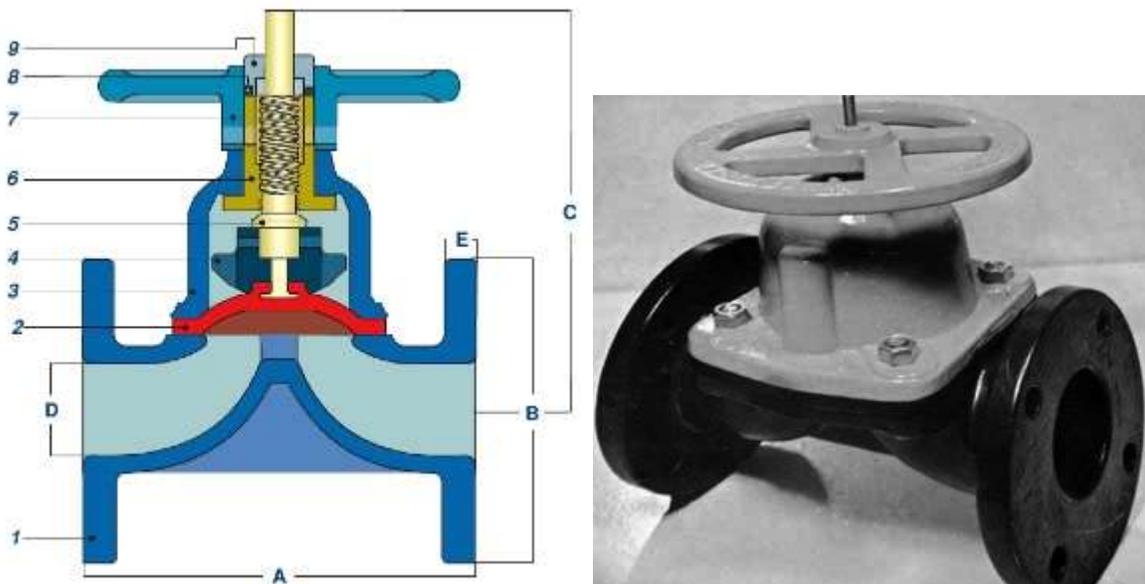
El órgano de cierre es más pequeño que en las válvulas anteriores y suele actuar sobre secciones menores que las propias de conducción. El fluido suele recorrer caminos tortuosos que provocan importantes pérdidas de carga permanentes y aumento considerable de la velocidad. *De asiento y de aguja:* son las típicas válvulas de regulación de caudal. Las válvulas de asiento tienen un órgano de

cierre troncocónico, mientras que en las válvulas de aguja el órgano de cierre es una aguja (lógicamente). Los órganos de cierre se apoyan en bases fijas dentro de la conducción. Estas válvulas se emplean sobre todo para controlar gastos en equipos de medición y laboratorio.



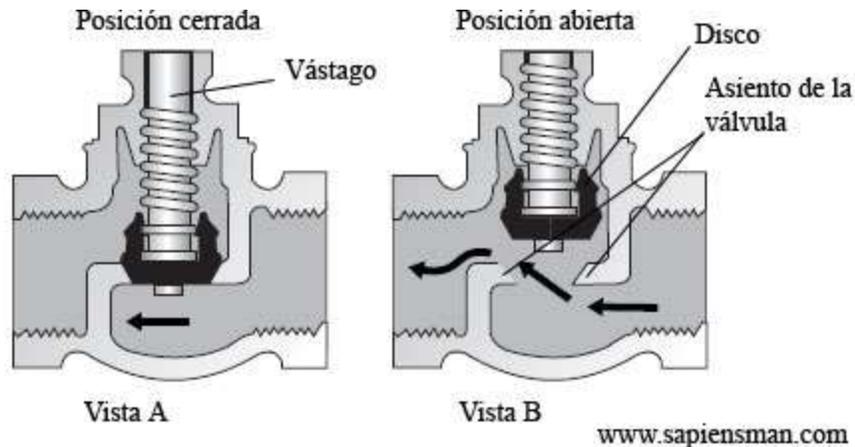
### Válvulas de diafragma

En las válvulas de diafragma una membrana flexible (de caucho o de plástico) es accionada exteriormente por un eje móvil hasta contactar con un saliente de la pared interna de la conducción, momento en el que se cierra la tubería. Tienen una duración limitada pero permite a los fluidos circular herméticamente.



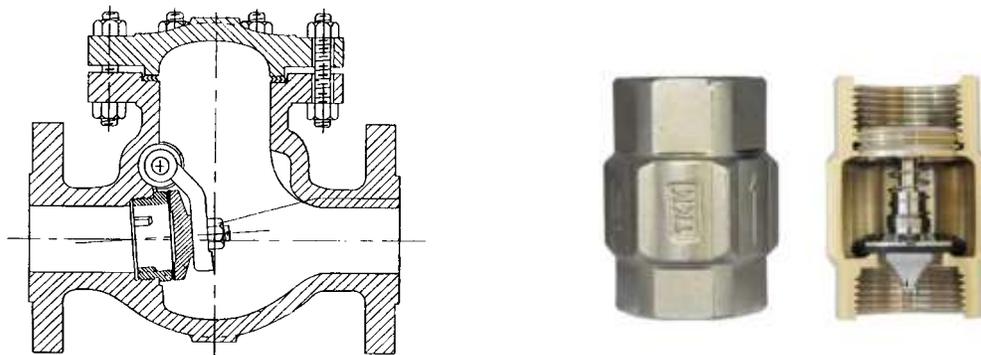
### Válvulas de globo:

El fluido tiene que pasar por medio de un camino tortuoso, lo que provoca grandes caídas de presión, Estas válvulas son muy utilizadas para controlar el flujo ya sea manualmente o por medios neumáticos o electrónicos.



### Válvulas de retención

Las válvulas de retención o check: sólo permiten el paso del fluido en un solo sentido, ya que cuando éste intenta retroceder se cierran. Pueden ser de bola, de elevación o de bisagra.



### Cabezas o cargas de velocidad

Otro método muy utilizado para calcular las pérdidas por fricción que causa un accesorio en una tubería es el de las cabezas de velocidad. En ellas, la caída de presión está dada por la ecuación siguiente, en donde K es un coeficiente de pérdida de carga que depende de los accesorios y que se obtiene experimentalmente.

Una ecuación que puede ser empleada para el flujo turbulento en tuberías de acero comerciales es:

$$\Delta P = \frac{M^{1.8} \mu^{0.2}}{20\,000 D^{4.8} \rho}$$

En donde:

$\Delta P =$  *Caída de presión por fricción en  $\frac{\text{psi}}{100}$  pies de tubería recta equivalente.*

$M =$  *flujo másico en lb/h*

$\mu =$  *viscosidad en cps.*

$\rho =$  *densidad en lb/ft<sup>3</sup>*

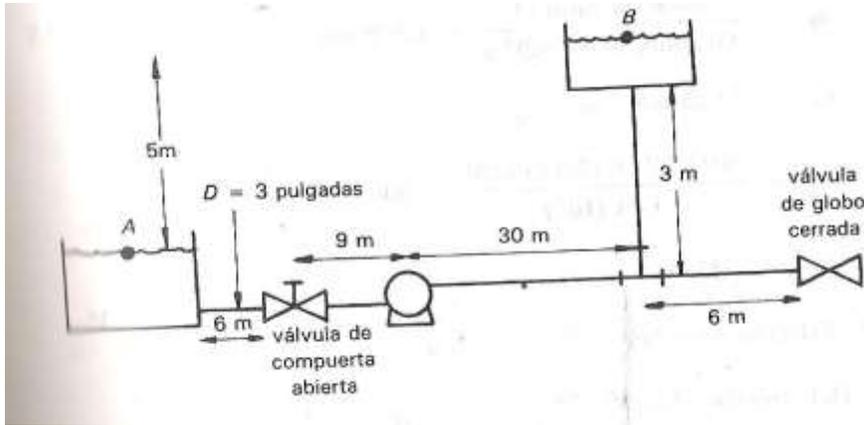
$D =$  *diámetro interno de la tubería en pulgadas.*

ACCESORIO	PÉRDIDA DE CARGA
De depósito a tubería- conexión a ras de la pared (pérdida a la entrada)	$0,50v_2^2/2g$
- tubería entrante	$1,00v_2^2/2g$
- conexión abocinada	$0,05v_2^2/2g$
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	$1,00v_1^2/2g$
Ensanchamiento brusco	$(v_1-v_2)^2/2g$
Ensanchamiento gradual (tabla 4)	$k(v_1-v_2)^2/2g$
Venturímetros, boquillas y orificios ( $C_v$ = Coef. de velocidad)	$(1/c_v^2 - 1)v_2^2/2g$
Contracción brusca (tablas 3 y 4)	$kv_2^2/2g$
Codo 45°	$k=0,35$ a $0,45$
Codo 90°	$k=0,50$ a $0,75$
Tes	$k=1,50$ a $2,00$
Válvulas de compuerta(abierta)	$k =$ aprox. $0,25$
Válvulas de control (abierta)	$k =$ aprox. $3,0$
Válvula de retención (charnela)	$k =$ aprox. $2$

*Nota. Subíndice 1 = Aguas arriba. Subíndice 2 = Aguas abajo*

### Ejemplo 11

Se bombea agua a  $15^\circ\text{C}$  a razón de 380 L/min desde un depósito hasta un tanque elevado 5 m sobre el de almacenamiento. Se va a usar una tubería de 3 pulgadas Cd 40 de acero comercial para llevar el agua hasta el tanque elevado. Calcule el consumo de potencia de la bomba si la eficiencia de esta es del 70 %.



## 1.- Planteamiento

### 1.1.- Bernoulli

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta u^2}{2gc} = -\frac{\tau}{M} - \frac{\Sigma F}{M}$$

$$P_A = P_B \quad ; \quad u_A = u_B$$

$$\frac{g}{gc} \Delta Z = -\frac{\tau}{M} - \frac{\Sigma F}{M}$$

### 1.2.- Pérdidas por fricción

$$\frac{\Sigma F}{M} = f_D \frac{u^2 (L + Le)}{2gcD}$$

## 2.- Cálculos

### 2.1.- Reynolds

Datos  $D_3 = 3.068 \text{ pulgadas} = 0.07792 \text{ m}$

$$\rho = 999.13 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.14 \text{ cps}$$

$$u_3 = \frac{0.380 \frac{m^3}{min} \times 4}{60 \frac{s}{min} \times \pi \times (0.07792)^2} = 1.328 \frac{m}{s}$$

$$Re_3 = \frac{0.07792 \times 1.328 \times 999.13}{1.14 \times 10^{-3}} = 90\,690$$

.2.- Fricción en la tubería de tres pulgadas.

Rugosidad relativa  $\frac{\epsilon}{D}=0.0006$  ; factor de fricción  $f_D = 0.021$

Longitud de tubo  $15 + 33=48$  m (el agua no circula después de la T y hacia la válvula)

Entrada 2.5 m, Válvula de compuerta abierta 0.5 m, T con salida lateral 5.2, entrada 2.2=10.2m

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.021 \frac{(1.328)^2 \times (48 + 10.2)}{2 \times 9.81 \times 0.07792} = 1.4 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

2.4.- Energía potencial.

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 5 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

2.5.- Potencia.

$$5 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg} = -\frac{\tau}{M} - 1.4 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

$$-\frac{\tau}{M} = 6.4 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

$$M = 0.380 \frac{m^3}{min} \times \frac{1min}{60s} \times 999.13 \frac{kg}{m^3} = 6.327 \frac{kg}{s}$$

$$P = 6.327 \frac{kg}{s} \times 6.4 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg} = 40.4 \frac{\overrightarrow{kgm}}{s}$$

Como la eficiencia es del 70%

$$P = \frac{40.4}{0.7} = 57.84 \frac{\overrightarrow{kgm}}{s} = 0.77 HP$$

3.- Resultado.

La potencia requerida es de tres cuartos de caballo.

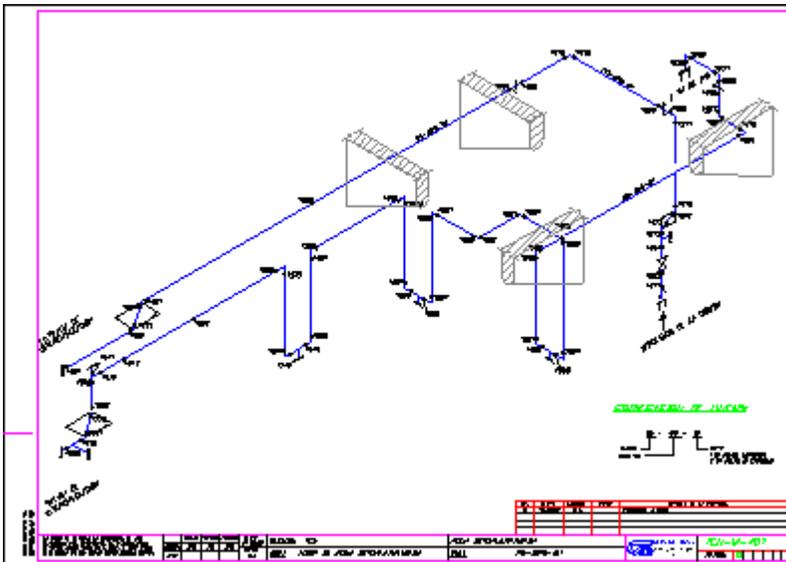
## Representación isométrica

Las líneas de conducción o tuberías están colocadas en el mundo real tridimensional, sin embargo, pueden ser representadas en dos dimensiones, mediante los planos isométricos. Una **proyección isométrica** es un método gráfico de representación, más específicamente una axonométrica<sup>[1]</sup> cilíndrica<sup>[2]</sup> ortogonal.<sup>[3]</sup> Constituye una representación visual de un objeto tridimensional en dos dimensiones, en la que los tres ejes ortogonales principales, al proyectarse, forman ángulos de  $120^\circ$ , y las dimensiones paralelas a dichos ejes se miden en una misma escala.

El término isométrico proviene del idioma griego: "igual medida", ya que la escala de medición es la misma en los tres ejes principales (x, y, z).

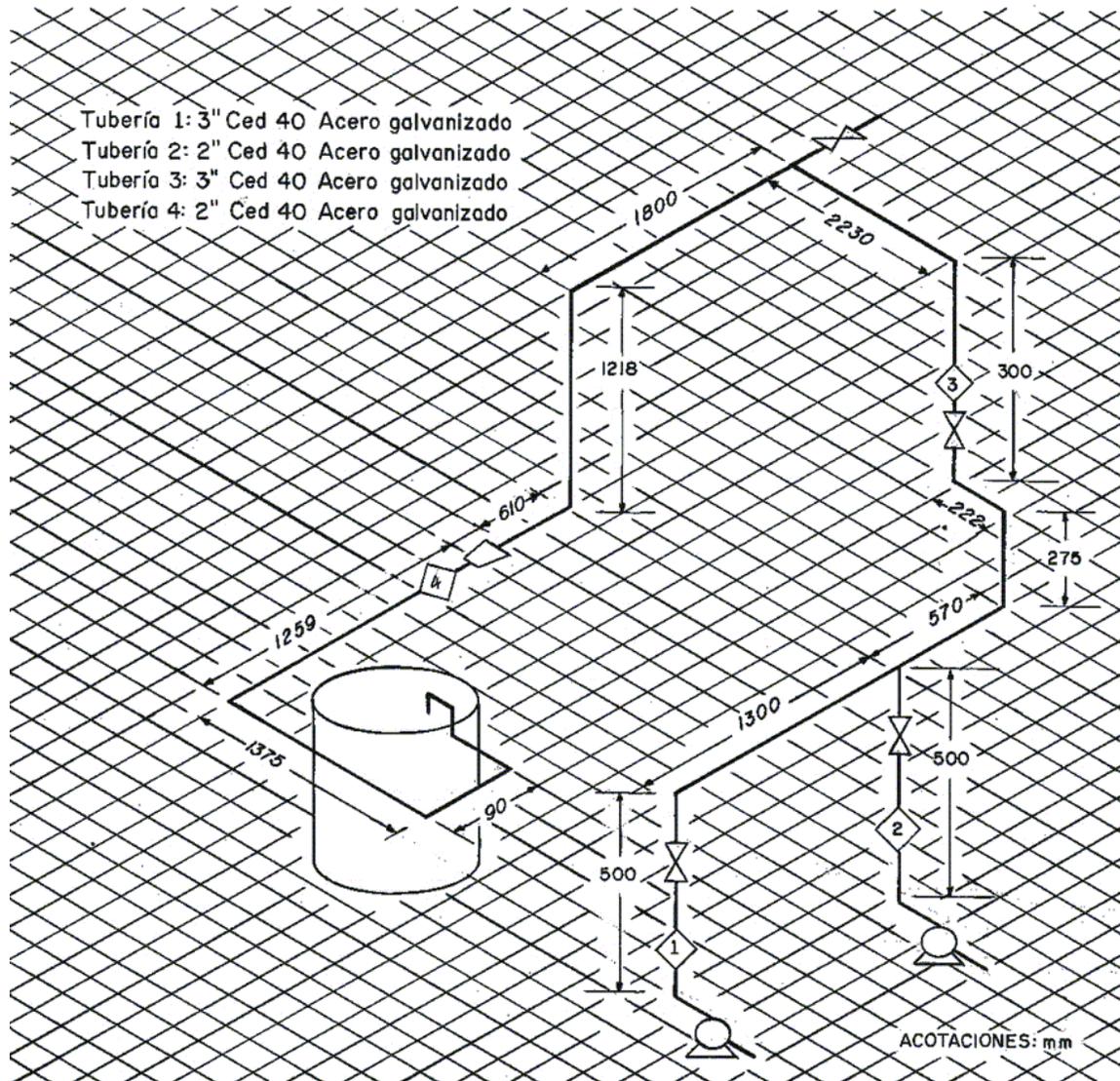
La isometría es una de las formas de proyección utilizadas en dibujo técnico que tiene la ventaja de permitir la representación a escala, y la desventaja de no reflejar la disminución aparente de tamaño -proporcional a la distancia- que percibe el ojo humano.

Las representaciones en planos isométricos permiten dar una visión de la forma espacial en que están distribuidos los equipos.

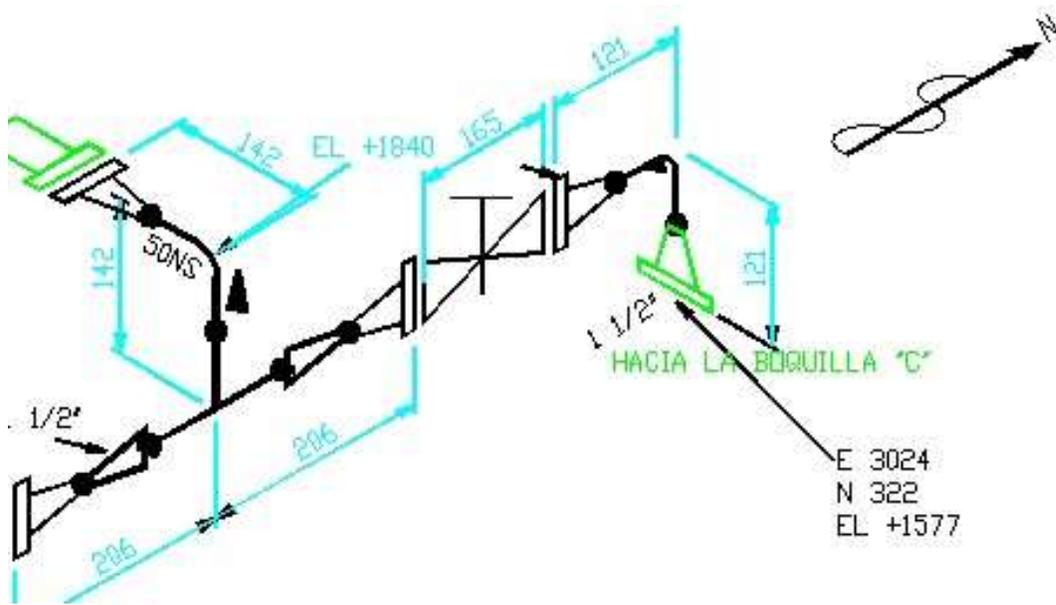


Sobre el papel isométrico se pueden dibujar las líneas y los accesorios de las tuberías. Los dibujos no están a escala, sólo se representan los cambios de dirección y los accesorios más importantes. Las longitudes y diámetros se pueden

indicar en dibujo o presentarse aparte en una tabla.



En los planos o dibujos isométricos de tuberías se suele indicar la dirección con respecto al norte de los equipos o líneas representadas

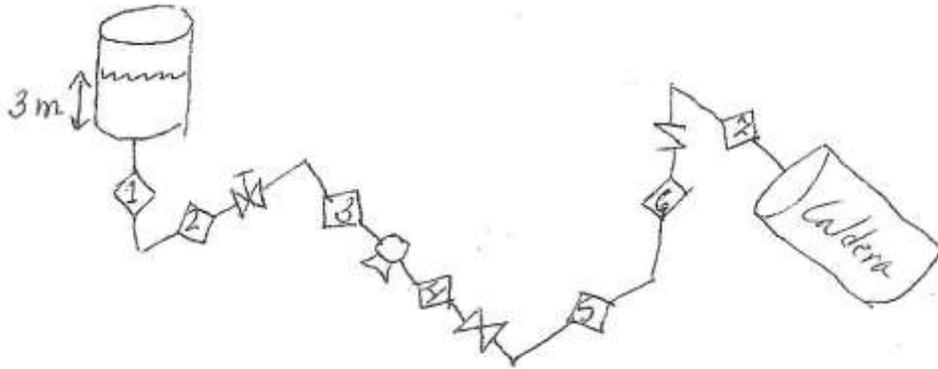


### Ejemplo 12

Para abastecer de agua a una caldera se trae el líquido desde un tanque elevado. El agua está a 18°C. La tubería es de acero Cd.480. La presión en la caldera es de 15 atm manométrica. ¿Cuál es la potencia de la bomba si la eficiencia es del 60 %? ¿Cuál es el costo de la energía eléctrica si el sistema trabaja las 24 horas del día?

Dato: Costo del Kw-h = 12 pesos.

Tubería	Diámetro de la tubería en pulgadas	Longitud de la tubería en metros	Velocidad del agua en la tubería en m/s
1	2	15	
2	2	2	
3	2	4	
4	1.5	7	
5	1.5	20	1.5
6	1.5	6	
7	1.5	3	



## 2.- Planteamiento

### 2.1.- Balance de materia.

A régimen permanente:

$$M_1 = M_2 = M_3$$

$$M_1 = u_1 A_1 \rho_1$$

### 2.2.- Bernoulli

$$\Delta z g + \frac{\Delta u^2}{2} + \frac{\Delta P}{\rho} = -\frac{\tau}{M} - \frac{\Sigma F}{M}$$

En donde:

$$\frac{\Sigma F}{M} = f_D \frac{u^2 (L + Le)}{2gcD}$$

## 3.- Cálculos.

### 3.1.- Datos

A 19 ° C la viscosidad del agua es 1.056 cps, la densidad es de 998.62 kg /m<sup>3</sup>.

Los diámetros de las tuberías son:

Diámetro de tubería de 2 pulgadas cédula 80 = 0.04925 m.

Diámetro de tubería de 1.5 pulgadas cédula 80 = 0.0381m

### 3.2.- Velocidad.

Del enunciado la velocidad en la tubería de 1.5 pulgadas es de 1.5 m/s

Por lo tanto la masa que pasa por el sistema es:

$$M_5 = 0.785 \times (0.0381)^2 \times 998.62 \times 1.5 = 1.7069 \frac{kg}{s}$$

La velocidad en la línea de 2 pulgadas será:

$$M_5 = M_1 = 1.7069 = 0.785 \times (0.04925)^2 \times 998.62 \times u_1$$

$$u_1 = 0.897 = u_2$$

3.3.-Números de Reynolds.

$$Re_{1.5} = \frac{0.0381 \times 1.5 \times 998.62}{1.056 \times 10^{-3}} = 5.41 \times 10^4$$

$$Re_2 = \frac{0.04925 \times 0.897 \times 998.62}{1.056 \times 10^{-3}} = 4.17 \times 10^4$$

3.4.- Factores de fricción y rugosidades

$$f_{D,1.5} = 0.025 ; f_{D,2} = 0.028$$

Para dos pulgadas

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.009; \frac{\epsilon}{D} = 0.0015$$

3.5.- Longitudes equivalentes

Para la tubería de dos pulgadas L tubo = 21 m; L acc= 2.2+1.5+0.4

Longitud total 25.1 m

Para la tubería de 1.5 pulgadas L tubo = 36 m, L acc= 3.3+13.4+3.2+0.5

Longitud total 56.4 m

3.6.- Pérdidas por fricción.

$$\frac{\Sigma F}{M_2} = 0.028 \frac{(0.897)^2 \times 25.1}{2 \times 0.04925} = 5.7 \frac{J}{kg}$$

$$\frac{\Sigma F}{M_{1.5}} = 0.025 \frac{(1.5)^2 \times 56.4}{2 \times 0.0381} = 41.63 \frac{J}{kg}$$

3.6.- Energía potencial

$$\Delta Zg = (6 - 18)9.81 = -117.72 \frac{J}{kg}$$

3.7.- Energía cinética

$$\frac{\Delta u^2}{2} = \frac{(1.5)^2}{2} = 1.125 \frac{J}{kg}$$

3.8.- Energía de presión

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1515000}{998} = 1518 \frac{J}{kg}$$

3.9 Bernoulli.

$$-117.72 + 1518 + 1.25 = -\frac{\tau}{M} - 5.7 - 41.63$$

$$-\frac{\tau}{M} = 1448.96 \frac{J}{kg}$$

3.10.- Potencia

$$\mathcal{P}_H = 1448.86 \times 1.7089 = 2473 \text{ W}$$

$$\mathcal{P}_B = \frac{2473}{0.6} = 4121.7 \text{ W}$$

3.11.- Costo del bombeo.

$$\mathcal{P}_B = 4121.7 \frac{J}{s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} = 3.56 \times 10^8 \text{ J} - \text{h}$$

$$1 \text{ kw} - \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} - \text{h}$$

Energía consumida=

$$\frac{3.56 \times 10^8}{3.6 \times 10^6} = 98.88 \text{ kw} - \text{h}$$

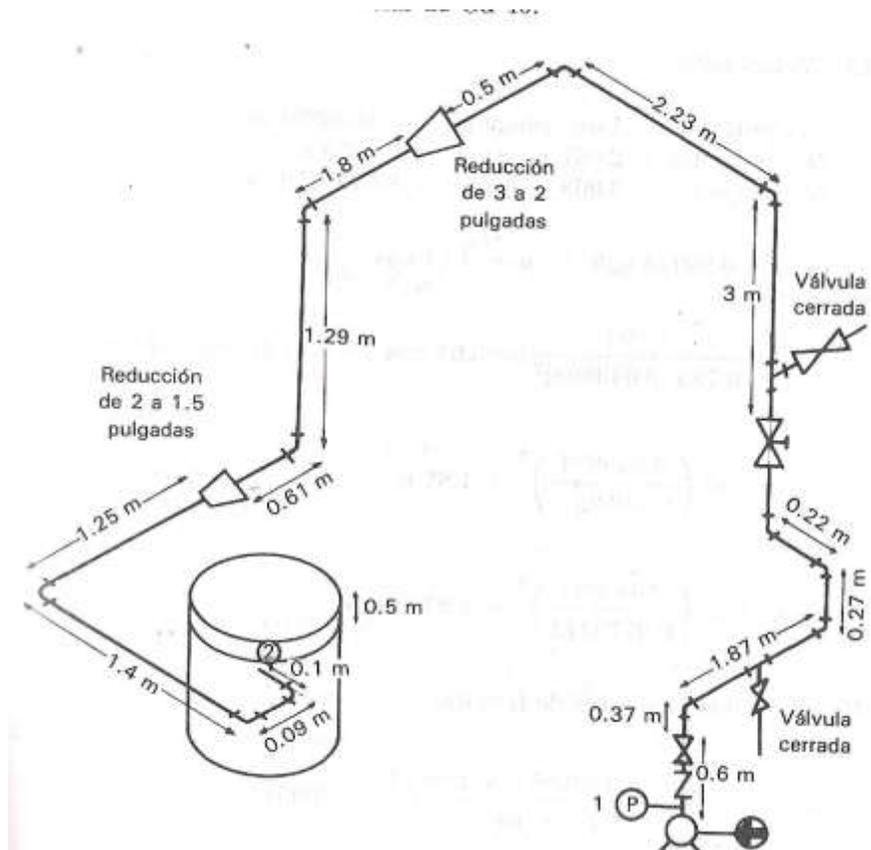
$$\text{Costo} = 98.8 \times 12 = 1185.6 \text{ \$}$$

\$.- Resultado.

El costo de bombeo será de 1185.6 pesos.

### Ejemplo 13

Si el flujo de agua manejado en el sistema siguiente es de 4L/s a 15 ° C, ¿cuál deberá ser la presión que indica el manómetro en el punto 1? El tanque mostrado está abierto a la atmósfera. La tubería empleada en el sistema es de acero comercial de Cd 40.



#### 1.- Planteamiento

##### 1.1.- Bernoulli.

$$\Delta z g + \frac{\Delta u^2}{2} + \frac{\Delta P}{\rho} = -\frac{\tau}{M} - \frac{\sum F}{M}$$

Si el balance se hace entre el punto 1 y el 2

$$0 = -\frac{\tau}{M}; u_2=0$$

##### 1.2.- Velocidades.

$$M_1 = u_1 A_1 \rho_1$$

#### 2.- Cálculos.

### 2.1.- Velocidades

$$D_{1.5}=1.61 \text{ pulgadas}=0.040894 \text{ m}$$

$$D_2=2.067 \text{ pulgadas} = 0.0525 \text{ m}$$

$$D_3=3.068 \text{ pulgadas} = 0.07792 \text{ m}$$

Densidad del agua = 999.13 kg /m<sup>3</sup> ; viscosidad = 1.14 cps.

$$u_{1.5} = \frac{0.004}{0.785(0.040894)^2} = 3.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$u_2 = 1.85 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; u_3=0.8399 \text{ m/s}$$

### 2.2.- Reynolds y factores de fricción

$$Re_{1.5} = \frac{3.05 \times 0.04089 \times 999}{1.14 \times 10^{-3}} = 109\,314$$

$$Re_2 = 85\,123 ; Re_3 = 57\,363$$

$$f_{D3} = 0.022 ; f_{D2} = f_{D1.5}=0.023$$

### 2.3.- Perdidas por fricción en la tubería de 3 pulgadas

Longitud de tubo	8.46 m
Válvula de globo	26 m
Válvula de compuerta	0.5
Válvula de retención	6.3 m
6 codos de 90 ° radio medio	9.6 m
2 Te paso directo	3.2
Total de longitudes equivalentes	54.06

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.022 \frac{(0.8399)^2 \times 54.06}{2 \times 9.81 \times 0.07792} = 0.5487 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$$

### 2.4.- Pérdidas por fricción en la tubería de 2 pulgadas.

Longitud de tubo	3.7 m
2 codos	2.2
1 reducción de 3 a 2	0.4
Total de longitudes	6.3

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.022 \frac{(1.85)^2 \times 6.3}{2 \times 9.81 \times 0.0525} = 0.04605 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$$

### 2.5. Pérdidas de fricción en tuberías de 1.5 pulgada.

Longitud de tubo	2.84 m
3 codos 3X 0.9	2.5 m
1 reducción de 2 a 1.5	0.3 m
1 salida ordinaria	1 m
Total de longitudes	6.84 m

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.023 \frac{(3.05)^2 \times 6.84}{2 \times 9.81 \times 0.0489} = 1.824 \frac{kgm}{kg}$$

2.6 Pérdidas totales por la fricción.

$$\frac{\Sigma F}{M} T = 0.5487 + 0.4605 + 1.824 = 2.8332 \frac{kgm}{kg}$$

2.7.- Energía cinética.

$$\frac{\Delta(u)^2}{2gc} = \frac{0 - (0.8399)^2}{2gc} = -0.03595 \frac{kgm}{kg}$$

2.8.- Energía potencial.

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 3.45 \frac{kgm}{kg}$$

2.9.- Bernoulli.

$$\frac{\Delta P}{\rho} + 3.45 - 0.03595 = -2.8332$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = -6.247 \frac{kgm}{kg}$$

$$\Delta P = -6241.8 \frac{kg}{m^2}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -6241.8 = 10333 - P_1$$

$$P_1 = 16574.8 \frac{kg \text{ absolutos}}{m^2} = 1.65 \frac{kg}{cm^2} \text{ absolutos}$$

$$P_1 \text{ manométrico} = 1.65 - 1.033 = 0.624 \frac{kg}{cm^2}$$

3.- Resultado

La presión en el manómetro será de 0.624 Kg fuerza / cm<sup>2</sup>

**El segundo tipo de problemas** puede resolverse mediante las ecuaciones y las gráficas diseñadas por von Karman.

Theodore von Karman (1881,1963) científico de origen húngaro presentó en 1939 una gráfica modificada de Moody para resolver los problemas del segundo tipo.

Siguiendo el procedimiento de Karman, a partir de la ecuación de Darcy

$$\frac{\Sigma F}{M} = h_f = f_D \frac{u^2 L}{2 g_c D} \quad (1)$$

Se tiene que:

$$f_D = \frac{2 g_c \frac{D}{L} \Sigma F}{u^2 M} \quad (2)$$

De donde:

$$\sqrt{f_D} = \frac{\sqrt{2 g_c}}{u} \sqrt{\left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (3)$$

Por lo tanto:

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = \frac{u}{\sqrt{2 g_c \frac{\Sigma F D}{M L}}} \quad (4)$$

También:

$$u = \frac{1}{\sqrt{f_D}} \sqrt{2 g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (5)$$

Si se multiplica la ecuación (3) por el número de Reynolds Re.

$$Re \sqrt{f_D} = \frac{Re}{u} \sqrt{2 g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (6)$$

$$Re \sqrt{f_D} = \frac{D u \rho}{\mu u} \sqrt{2 g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (7)$$

$$Re \sqrt{f_D} = \frac{D \rho}{\mu} \sqrt{2 g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (8) \text{ este es el número de Karman.}$$

Para flujo laminar:

$$f_D = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu}{D u \rho} \quad (9)$$

$$u = \frac{64\mu}{D f_D \rho} \quad (10)$$

Si colocamos la ecuación (10) en la ecuación (4)

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = \frac{64\mu}{D f_D \rho \sqrt{2g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}}} \quad (11)$$

Sustituyendo (8) en (11)

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = \frac{64}{f_D Re \sqrt{f_D}} \quad (12)$$

Por lo tanto:

$$\frac{f_D}{\sqrt{f_D}} = \frac{64}{Re \sqrt{f_D}} \quad (13) \quad \text{y} \quad \frac{\sqrt{f_D} \sqrt{f_D}}{\sqrt{f_D}} = \frac{64}{Re \sqrt{f_D}} \quad (14)$$

De donde:

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = \frac{Re \sqrt{f_D}}{64} \quad (15) \quad \text{Esta ecuación es aplicable para } Re \sqrt{f_D} < 400.$$

Para Reynolds >400 flujo transicional

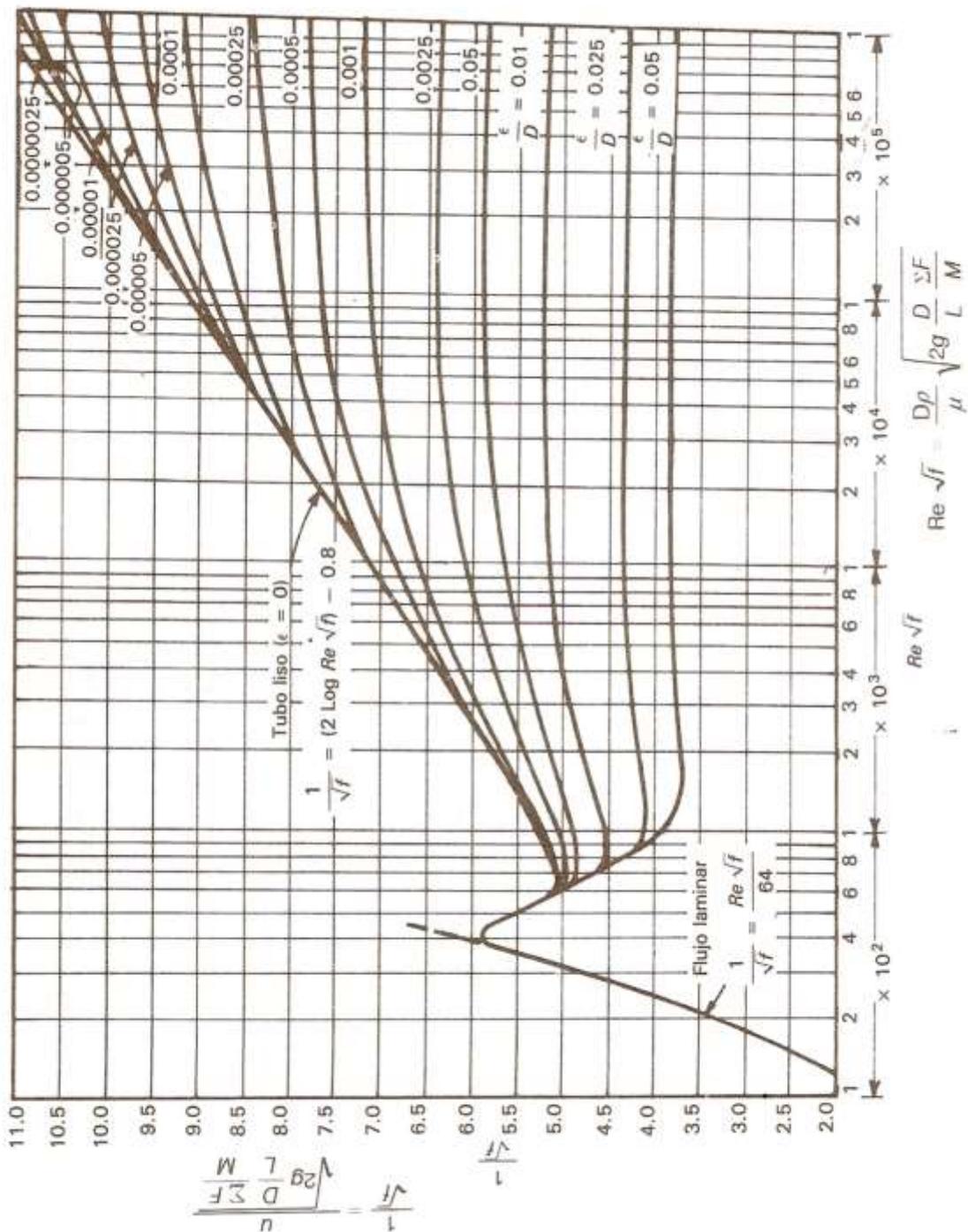
$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left[ \frac{2.51}{Re \sqrt{f_D}} + \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.715} \right] \quad (16)$$

Para el flujo turbulento

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = 2.03 \log \frac{\epsilon}{D} + 1.08 \quad (17)$$

Estas ecuaciones se encuentran graficadas en el gráfico de Karman. Mediante dicha gráfica se puede resolver en forma directa el valor de la velocidad requerida

del fluido, para una caída de presión y diámetro de tubería dados, puesto que la variable es la que aparece en la ordenada de la gráfica modificada.



Fuente: J. Ocón y G. Tojo. *Problemas en ingeniería química*, Aguilar. Madrid, 1967.

## Ejemplo 14

Determine el caudal que pasa por una tubería de acero galvanizado utilizada para transportar agua a 15°C si el diámetro interno de la tubería es de 25 cm y la longitud de ésta es de 800 m. Las pérdidas de presión medidas son de 0.5 kg fuerza / cm<sup>2</sup>.

1.- Planteamiento.

Este tipo de problemas se tiene que resolver por tanteos a menos que se utilicen las ecuaciones de Von Karman.

$$Re\sqrt{f_D} = \frac{D \rho}{\mu} \sqrt{2g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}}$$

$$u = \frac{1}{\sqrt{f_D}} \sqrt{2g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}}$$

2.-Cálculos

2.1.- Datos.

Viscosidad del agua =1.14 cps , densidad del agua =999 kg /m<sup>3</sup>, L= 800 m,

D= 0.25 m ,

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{0.5 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2} \times \frac{10000cm^2}{m^2}}{999 \frac{kg}{m^3}} = 5 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

2.2.-Karman

$$Re\sqrt{f_D} = \frac{D \rho}{\mu} \sqrt{2g_c \left(\frac{D}{L}\right) \frac{\Sigma F}{M}}$$

$$Re\sqrt{f_D} = \frac{0.25 \times 999}{1.14 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 5 \times 0.25}{800}} = 38358$$

De la gráfica de Karman con una rugosidad relativa de 0.0005 se obtiene que:

$$7.5 = \frac{1}{\sqrt{f}}$$

$$7.5 = \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{u}{\sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 0.25 \times 5}{800}}}$$

$$U = 1.313 \text{ m/s}$$

$$\text{Caudal} = 1.313 \times 0.785 (0.25)^2 = 0.0644 \text{ m}^3/\text{s} = 64.4 \text{ L/s}$$

3.- Resultado

El caudal será de 64.4 L/s

Para la solución del **tercer tipo de problemas** o sea, la determinación del diámetro de la tubería requerida, para una velocidad y caídas de presión dadas no se pueden emplear el gráfico de Moody o de Karman y se requiere de un proceso iterativo.

Si combinamos los grupos adimensionales  $Re$ ,  $f_D$  y  $r$  (rugosidad relativa

$r = \epsilon/D$ ) Se obtienen los siguientes grupos:

$$f_D Re^2 r^3 = \frac{2g_c D \sum F}{u^2 L} \left( \frac{Du\rho}{\mu} \right)^2 \left( \frac{\epsilon}{D} \right)^3 = \frac{2g_c \sum F}{L \mu^2} \rho^2 \epsilon^3 = X \quad (18)$$

$$Y = \frac{Re}{r} = \frac{Du\rho}{\mu} \frac{1}{\epsilon/D} \quad (19)$$

Pero puesto que el gasto volumétrico  $Ca = \frac{\pi}{4} D^2 u$  (20)

Entonces:

$$Y = \frac{Re}{r} = \frac{4\rho Ca}{\pi \epsilon \mu} \quad (21)$$

De esta forma la incógnita (el diámetro) aparece sólo en el parámetro de la rugosidad relativa.

La grafica de Ramalho, (1964) permite la solución de este tipo de problemas en forma directa, construida con base en la gráfica convencional de Moody, que a su vez está basada en la siguiente ecuación de Colebrook (1938)

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f_D}} \right] \quad (22)$$

Una ventaja adicional de la gráfica de Ramalho es que en ella las tres variables (velocidad, caída de presión y diámetro) están separadas, permitiendo una solución directa para los tres tipos de problemas descritos.

En el caso en que el valor del diámetro no coincida con el de las tuberías comerciales se ajusta al valor del diámetro comercial más próximo disponible.

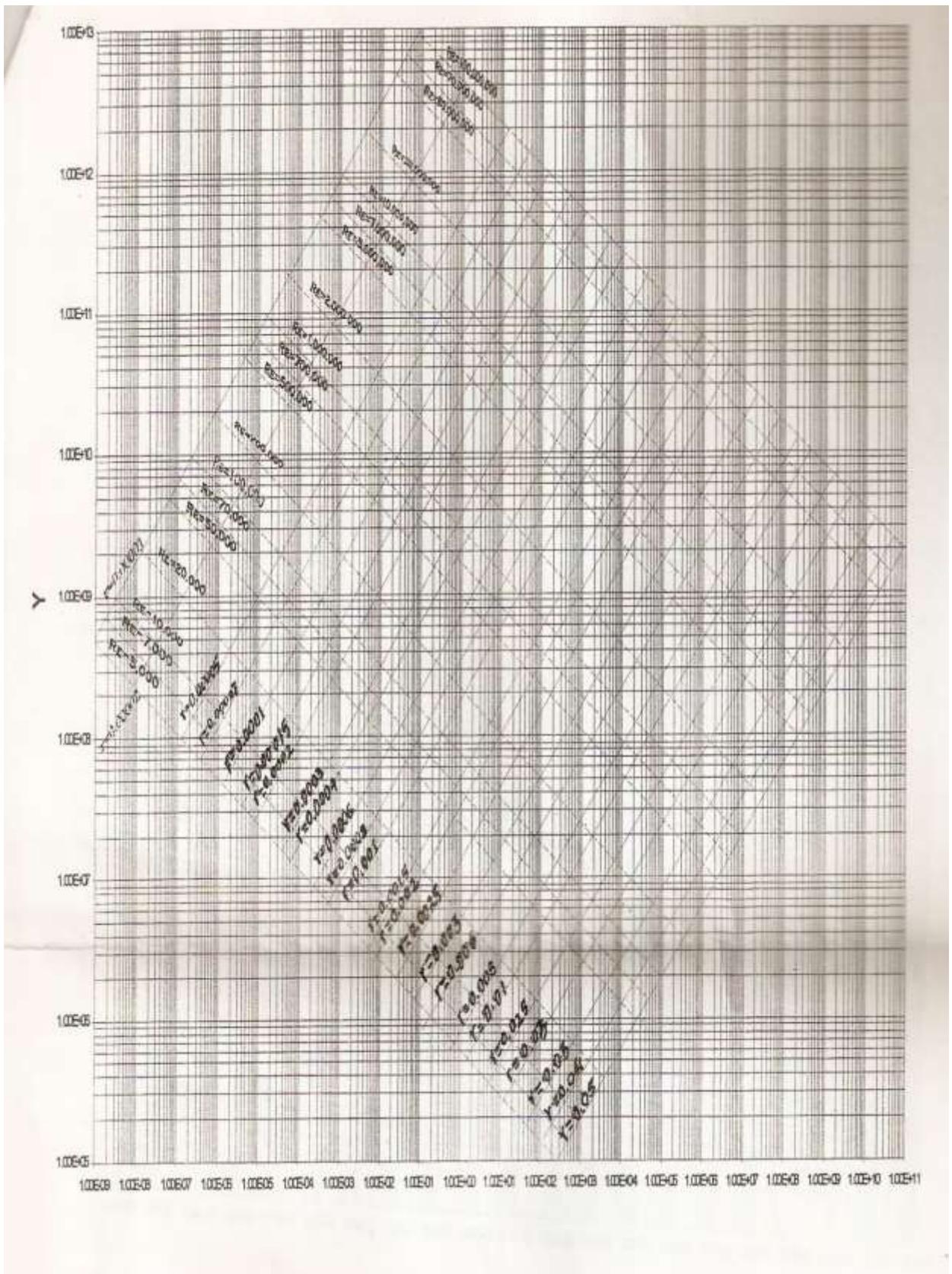
La gráfica siguiente se aplica para tuberías de acero comercial cédula 40 cuya rugosidad absoluta es de (0.00015 ft, 0.004575 cm).

Caídas de presión recomendadas,

Anaya, 1999, recomienda que para el cálculo de las dimensiones de la tubería se utilicen valores que permitan encontrar una combinación razonable de los costos de inversión y de operación del sistema. En la siguiente tabla se indican los criterios recomendados.

<b>Líquidos</b>	<i><math>\Delta P_{100}</math> recomendado en (psi/100ft)</i>
Succión de la bomba	0.1 a 0.5
Descarga de bomba	1 a 2
Descargas por gravedad	Máximo 0.05
Líquidos saturados	0.1 a 0.5
Líquidos subenfriados	0.2 a 1
<b>Gases</b>	
P < atm	0.05 a 0.25
P < 100 psig	0.25 a 0.5
100 a 1000 psig	0.5 a 2
P < 1000 psig	0.2% de P absoluta
<b>Vapor</b>	
Saturado entre 50 y 250 psig	0.5 a 1.5
Saturado entre 250 y 1000 psig	1 a 2
Sobrecalentado P < 250 psig	0.25 a 0.5
Sobrecalentado P > 250 psig	0.7% de P absoluta

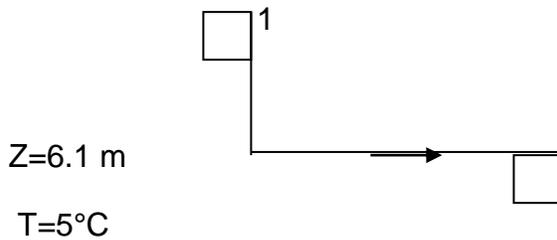




### Ejemplo 15

Se hace fluir agua a 5 ° C a través de una tubería horizontal de acero comercial con una longitud de 305 m a razón de 568 litros por minuto. Se dispone de altura de agua de 6.1 m para contrarrestar la pérdida por fricción. Calcule el diámetro apropiado de la tubería.

1.- Traducción



2

$$\frac{\Sigma F}{M} = 6.1 \text{ m}$$

$$D=? \quad Ca = 568 \text{ l / min}$$

2.- Planteamiento.

2.1.-Planteamiento.

Ec. De Darcy.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = f_D \frac{u^2 L}{2gcD}$$

3.- Cálculos.-

3.1.- Datos.

Viscosidad =  $1.55 \times 10^{-3} \text{ kg / m s}$

Densidad  $1000 \text{ kg / m}^3$

Caudal =  $568 \text{ litros / min} = 9.46 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

3.2.- Ecuación de Darcy

$$6.1 \frac{\bar{k}gm}{kg} = f_D \frac{u^2 305}{2(9.81)(D)}$$

Se desconoce D, u, por lo tanto el Re y el  $f_D$ . La resolución se puede efectuar por medio de tanteos.

### 3.2.- Primer tanteo

Sea  $D = 0.09m$

Entonces el área transversal de la tubería sería:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0.785(0.09)^2 = 0.0063585 \text{ m}^2$$

Velocidad

$$u = \frac{Ca}{A} = \frac{0.00946 \frac{m^3}{s}}{0.00635 \text{ m}^2} = 1.48 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{Du\rho}{\mu} = \frac{0.09(1.48)(1000)}{1.55 \times 10^{-3}} = 85935$$

Para una tubería comercial  $\frac{\varepsilon}{D} = 0.005$

De la gráfica de Moody

$F_D=0.02$

Sustituyendo nos queda:

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.02 \frac{(1.48)^2 (305)}{2(9.81)(0.09)} = 7.56 \frac{\bar{k}gm}{kg}$$

La velocidad es muy alta, por lo que el diámetro deberá ser mayor.

### 3.2.- Segundo tanteo.

$$D = 0.095$$

$$A = 0.00708\text{m}^2$$

$$\text{Velocidad } u = 1.335 \text{ m /s}$$

$$\text{Re} = 81840$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0.005$$

Y  $f_D = 0.02$  (el factor Darcy cambia poco en la región turbulenta).

Por lo tanto:

$$\frac{\Sigma F}{M} = 0.02 \frac{(1.335)^2 (305)}{2(9.81)(0.095)} = 5.83 \frac{\text{kg}\bar{m}}{\text{kg}}$$

El valor buscado de D deberá ser un poco menor. Por ello se debería hacer un nuevo tanteo.

4.- Resultado.

El diámetro será de aproximadamente 0.0945 m

### Ejemplo 16

Por una tubería circula un flujo de 29 litros por segundo de agua a 15 grados centígrados. Si la caída de presión permisible es de 0.135 kg /cm<sup>2</sup> por 100 m (0.59 psia por 100ft), determine el diámetro de la tubería de acero comercial más adecuado para estas condiciones.

Datos del agua:

Densidad a 15 ° C = 999.13 kg / m<sup>3</sup> ; viscosidad a 15 ° C = 1.14 cps = 1.14 x10<sup>-3</sup> Pa-s. ; Rugosidad = 0.00015 ft = 0.00004575 m

Utilizando la ecuación 21

$$Y = \frac{Re}{r} = \frac{4\rho Ca}{\pi \epsilon \mu} \quad (21)$$

$$Y = \frac{4 \times 999.13 \times 0.029}{3.14 \times 0.00004575 \times 1.14 \times 10^{-3}} = 7.07 \times 10^8$$

Como la sumatoria de fricciones  $\frac{\Sigma F}{M}$  está expresada en altura de líquido hay que cambiar los datos del problema.

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{0.135 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}}{999.13 \frac{kg}{m^3}} \times \frac{10000 cm^2}{m^2} = 1.351 \frac{\overrightarrow{kgm}}{kg}$$

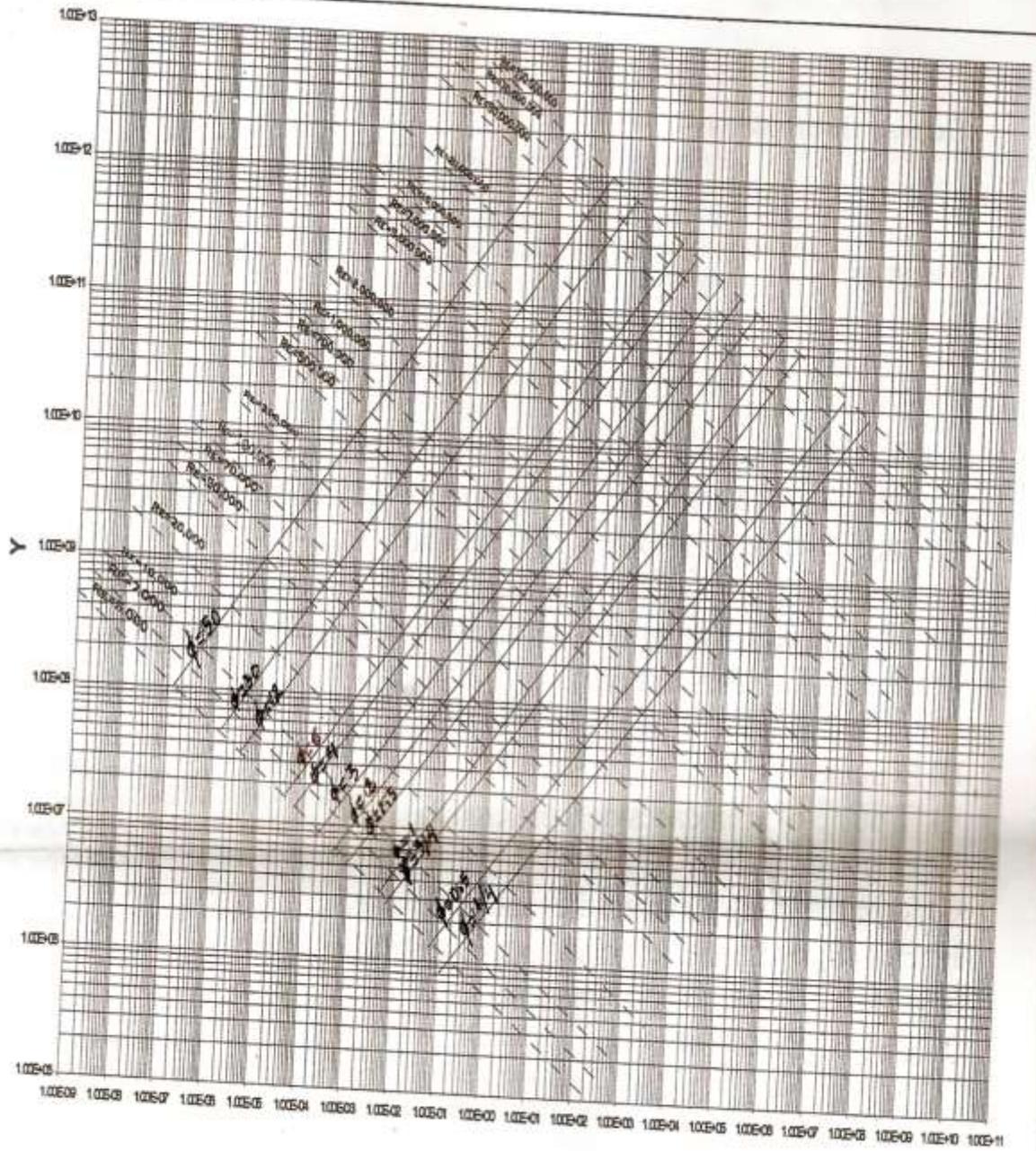
Utilizando la ecuación 18 se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{2g_c \frac{\Sigma F}{M} \rho^2 \epsilon^3}{L\mu^2} &= X \\ &= \frac{2 \times 9.81 \times 1.351 \times (999.13)^2 \times (4.575 \times 10^{-5})^3}{100 \times (1.14 \times 10^{-3})^2} \\ &= 2.04 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

Finalmente se lee el valor para  $r$  en la gráfica y se resuelve la ecuación  $r = E/D$ .

$$r = 0.0003 \text{ y por lo tanto } D = \frac{4.575 \times 10^{-5}}{0.0003} = 0.1525 \text{ m} = 6 \text{ pulgadas}$$

$$\text{La velocidad en la línea sería de } u = \frac{0.029}{\frac{\pi}{4}(0.1525)^2} = 1.58 \frac{m}{s}$$



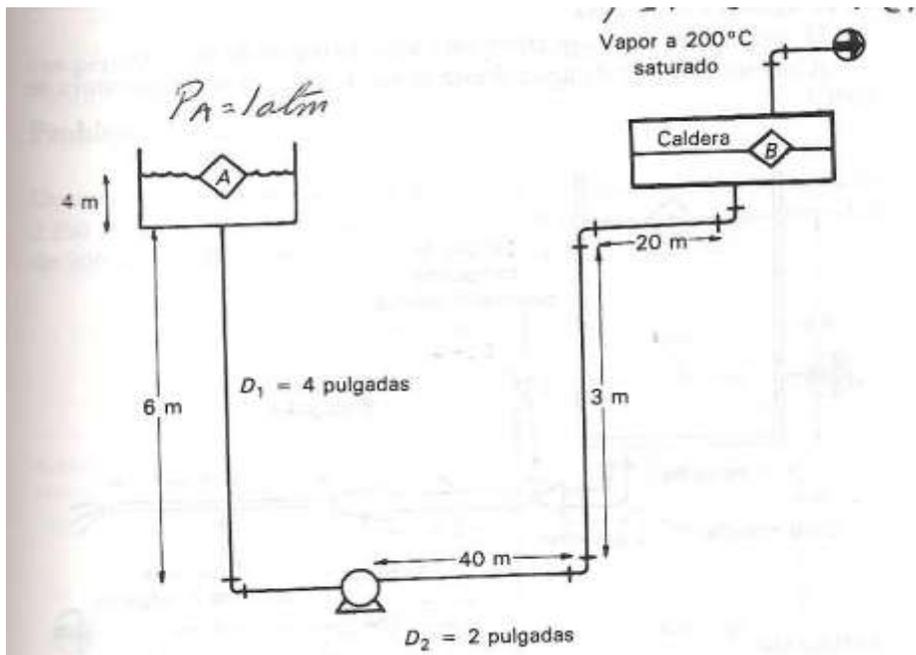
Gráfica 2. Gráfica de Moody modificada (aplicación para tubería de acero comercial cédula 40).

## Ejercicios de autoevaluación

1.- Una bomba extrae agua de un tanque a razón de 570 L /min a través de una tubería de 5 pulgadas, cédula 40. La toma de la bomba tiene 25 m de tubo e incluye una válvula de globo y 3 codos de 90°, La descarga de la bomba consiste en una tubería de 5 pulgadas de 3 m de longitud en la que se encuentra una válvula de globo y posteriormente hay una reducción de 5 a 2 pulgadas. El tramo de 2 pulgadas es de 300 m y sobre él se encuentran 2 codos de 90°, una válvula de retención y una de globo. La descarga es a la intemperie a 6 m sobre el nivel del tanque. La tubería es de acero comercial. ¿Cuál es la potencia de la bomba? La temperatura de operación es de 30 ° C.

R.- La potencia requerida es de 16.91 HP.

2.-Para abastecer de agua a una caldera se trae líquido desde un tanque elevado. El agua está a 28 ° C y se bombea a razón de 380L /min. La tubería es de acero comercial. La temperatura de salida del vapor de la caldera es de 200 ° C y está saturado. La eficiencia de la bomba es del 85 % ¿Cuál debería ser la potencia de la bomba?

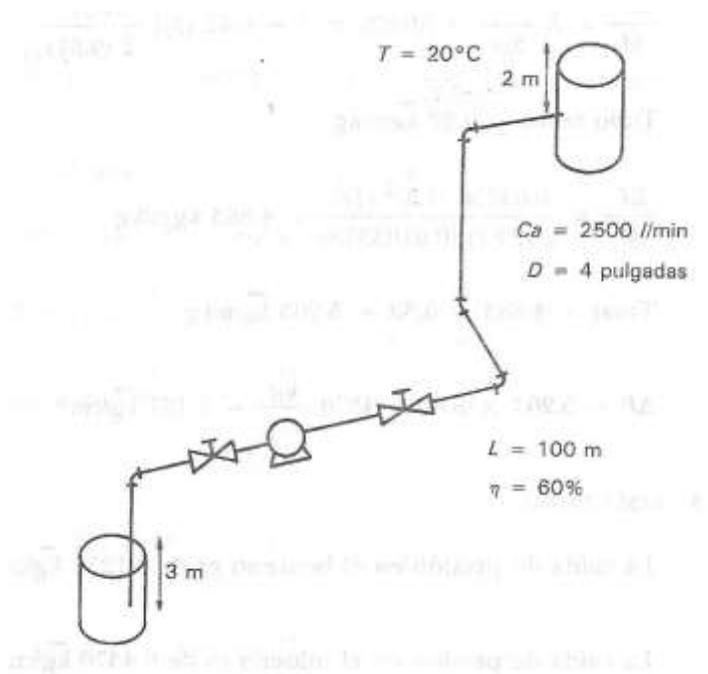


R.- Se requieren 14.9 H.P.

3.-Se bombea agua desde un depósito hasta un tanque de almacenamiento situado en la parte superior de un edificio, utilizando para ello una bomba centrífuga. Entre las dos superficies existe una diferencia de nivel de 60 m. La tubería de entrada está a 3 m por debajo de la superficie del agua y las

condiciones son tales que el nivel permanece constante. El tanque de almacenamiento está abierto a la atmósfera y el nivel permanece constante. La tubería de entrada al tanque de almacenamiento está a 2 m por debajo de la superficie. El sistema de tuberías antes de la bomba está formado por 60 m de tubería de 6 pulgadas Cd 40 de hierro y contiene dos codos de 90 ° y una válvula de compuerta abierta. Después de la bomba hay 100 m de tubo de 4 pulgadas Cd 40 de hierro galvanizado con una válvula de compuerta abierta y 3 codos de 90°.

Se desea mantener un flujo de agua de 2500 L / min. La temperatura del agua es de 20 °C. Si la eficiencia del motor bomba es del 60%, ¿cuál sería el costo del bombeo diario si el Kw-h cuesta 10 pesos?



R.- El costo del bombeo sería de 13, 517 pesos /día.

4.- Determine el caudal de agua a 15 ° C que pasa por una tubería de acero galvanizado de 25 cm de diámetro interno y con una longitud de 800 m si las pérdidas de fricción son de 5 kgm /kg.

R.-El caudal es de 62 L /s.

5.- A través de una línea de acero de 15 cm de diámetro interno y de 900 m de longitud fluye un combustóleo con una viscosidad cinemática de  $4.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  y una densidad relativa de 0.918. Si la caída de presión en ese tramo es de 10.65 kg/cm<sup>2</sup>, ¿cuál será el caudal en L/s?

R.-38 L /s

6.- ¿Qué diámetro de tubería será necesario para transportar 22 L/s de un combustóleo pesado si la pérdida de carga de que se dispone en 1000 m de longitud de tubería horizontal es de 22 kgm/kg?

Datos del combustóleo:

Densidad relativa 0.912, viscosidad cinemática  $2.05 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

R- El diámetro mínimo es de 0.17 m.

7.- A través de una tubería horizontal de hierro cuya longitud es de 350 m se han de transportar  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  de una solución amoniacal al 26 % y a  $20^\circ \text{ C}$ , disponiéndose de una carga de 20 kgm /kg. Determine el diámetro mínimo de tubería que habrá de emplearse.

R.-El diámetro mínimo es de 0.115 m