RESULTADO DE APRENDIZAJE N° 2

UNIDAD 2: FLUIDOS EN PROCESOS DE PRODUCCION

Fluidos en Procesos de Producción

- Tipos de Fluidos
- Transporte y medida de fluidos.
- Agitación y mezcla de fluidos.
- Descripción de equipos.

INTRODUCCION

- El conocimiento de los fluidos es esencial, no sólo para tratar los problemas de movimiento de los fluidos a través de tuberías, bombas y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y de muchas operaciones de separación que dependen de la difusión y transferencia de masa.

Estados de la Materia

La materia la podemos encontrar en tres estados fundamentales.

Sólido: cuando los cuerpos tienen volumen y forma fija.

Líquido: tienen volumen fijo, pero forma variable.

Gas: su volumen y forma son variables.

El hecho de que estén en uno de estos estados depende del grado de atracción de los átomos o moléculas que formen la materia y tiene que ver

con la temperatura del cuerpo. A mayor temperatura mayor movilidad por lo que si aumentamos la temperatura vamos pasando de estado sólido a líquido y de éste a gaseoso.
Una característica común de gases y líquidos es que ambos son fluidos. O sea que pueden fluir de un lugar a otro con una cierta dificultad, que medimos mediante la viscosidad.

- El fluido es una sustancia cuyas moléculas presentan gran movilidad, por lo que sus moléculas se desplazan libremente debido a la poca fuerza de cohesión que existe entre ellas. No tiene una forma o volumen definido, a no ser que esté encerrado en un contenedor, y en cuyo caso adopta su forma. Comprenden líquidos, gases y vapores.
- Un fluido es una sustancia que no resiste en forma permanente la distorsión. Si se intenta cambiar la forma de una masa del fluido, se produce un deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras hasta que se alcanza una nueva forma. Durante el cambio de forma, existen esfuerzos cortantes, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido y de la velocidad del deslizamiento; pero cuando se alcanza la forma final desaparecen todos los esfuerzos cortantes.

TIPOS DE FLUIDOS

Los fluidos típicos son el agua, el aire, el CO2, aceites, lechadas o suspensiones y jarabes espesos.

Existen varias clasificaciones para los fluidos

Compresibles e Incompresibles:

- Si los cambios en la densidad son ligeros con cambios moderados en la temperatura y presión, al fluido se le llama no compresible; si los cambios en la densidad son significativos, al fluido se le denomina compresible. Los líquidos se consideran no compresibles y los gases compresibles.

Ideales y Reales:

- Ideales son aquellos que no se pueden comprimir y tampoco tienen viscosidad.

- Reales sí poseen viscosidad. En términos generales, todos los fluidos son fluidos reales.

  Líquidos: Que ocupan un volumen definido y tienen una superficie libre. Su densidad varía poco por cambios moderados de temperatura y presión, denominados como fluidos no compresibles.

  Gases: Se expanden hasta ocupar todas las partes del recipiente que los contenga. La densidad varía considerablemente con la presión y la temperatura, reciben el nombre de fluidos compresibles.

Según sus propiedades Reológicas

Fluidos Newtonianos y No Newtonianos

- Son aquellos que se comportan de acuerdo con las leyes de viscosidad de Newton; o sea la viscosidad del fluido no varía con la fuerza que se le aplique. Sumado a esto, la viscosidad disminuye con la temperatura.
- En los fluidos no Newtonianos, la viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se aplica; por lo que no tiene un valor definido y constante.

Propiedades de los fluidos y ecuaciones básicas

$$s = \frac{\rho}{\rho_w}$$ Gravedad específica (densidad relativa)

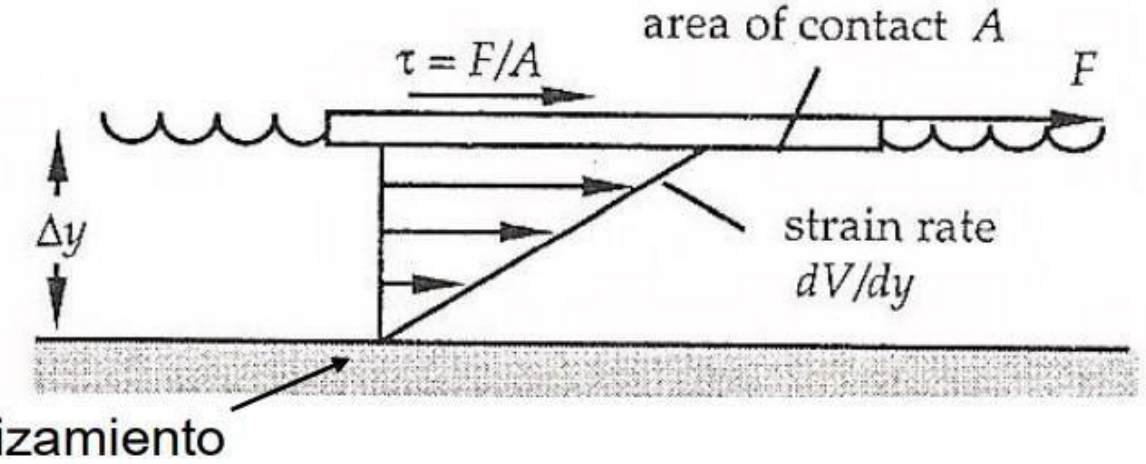
$$\gamma = \rho g$$ Peso específico

La <u>viscosidad</u> es una medida de la resistencia que presenta un fluido al moverse bajo la acción de un esfuerzo de corte.

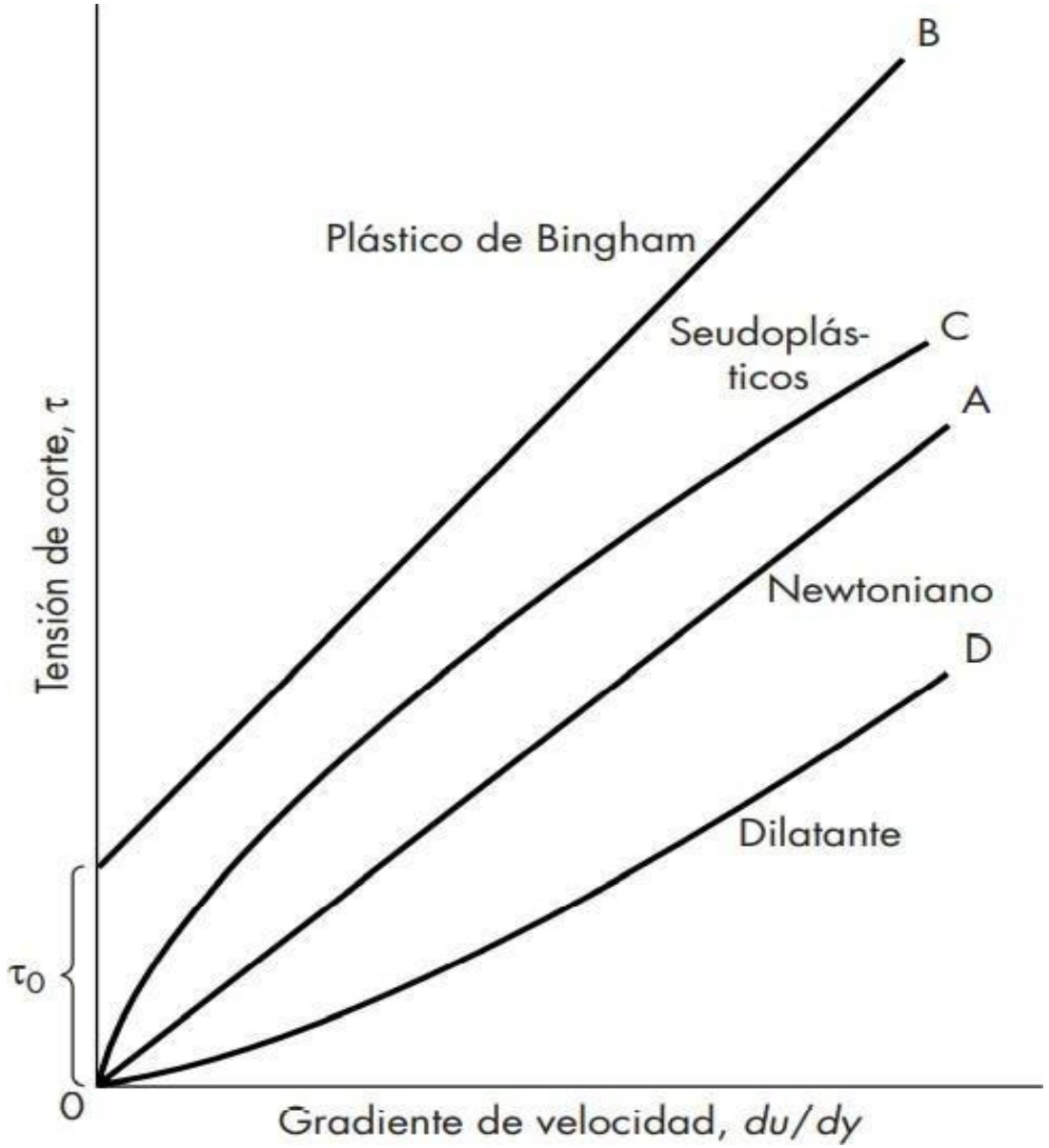
$$\tau = \mu \frac{dV}{dy}$$ Esfuerzo de corte

Viscosidad dinámica
(o absoluta)

μ = [N s / m^2]



Comportamiento Reológico de los fluidos



Características Reológicas de los fluidos

Designación	Efecto del aumento de la velocidad de corte	¿Dependiente del tiempo?	Ejemplos[2]
Seudoplásticos	Delgados	No	Soluciones poliméricas, suspensiones de almidón, mayonesa, pinturas
Tixotrópico	Delgados	Sí	Algunas soluciones poliméricas, materia grasa, algunas pinturas
Newtoniano	Ninguno	No	Gases, líquidos más simples
Dilatante	Espesos	No	Harina de maíz, soluciones azucaradas, arena húmeda de playa, almidón en agua
Reopéctico	Espesos	Sí	Suspensiones de arcilla de bentonita, suspensiones de yeso

Magnitudes que definen a los fluidos

Presión: se define como la relación entre la fuerza ejercida sobre la superficie de un cuerpo.

$$Presión = \frac{Fuerza}{Superficie} \quad , \qquad P = \frac{F}{S}$$

Las unidades que se utilizan para la presión son: **1 atmósfera ≈ 1 bar = 1 kg/cm^2 = 10^5 pascal**

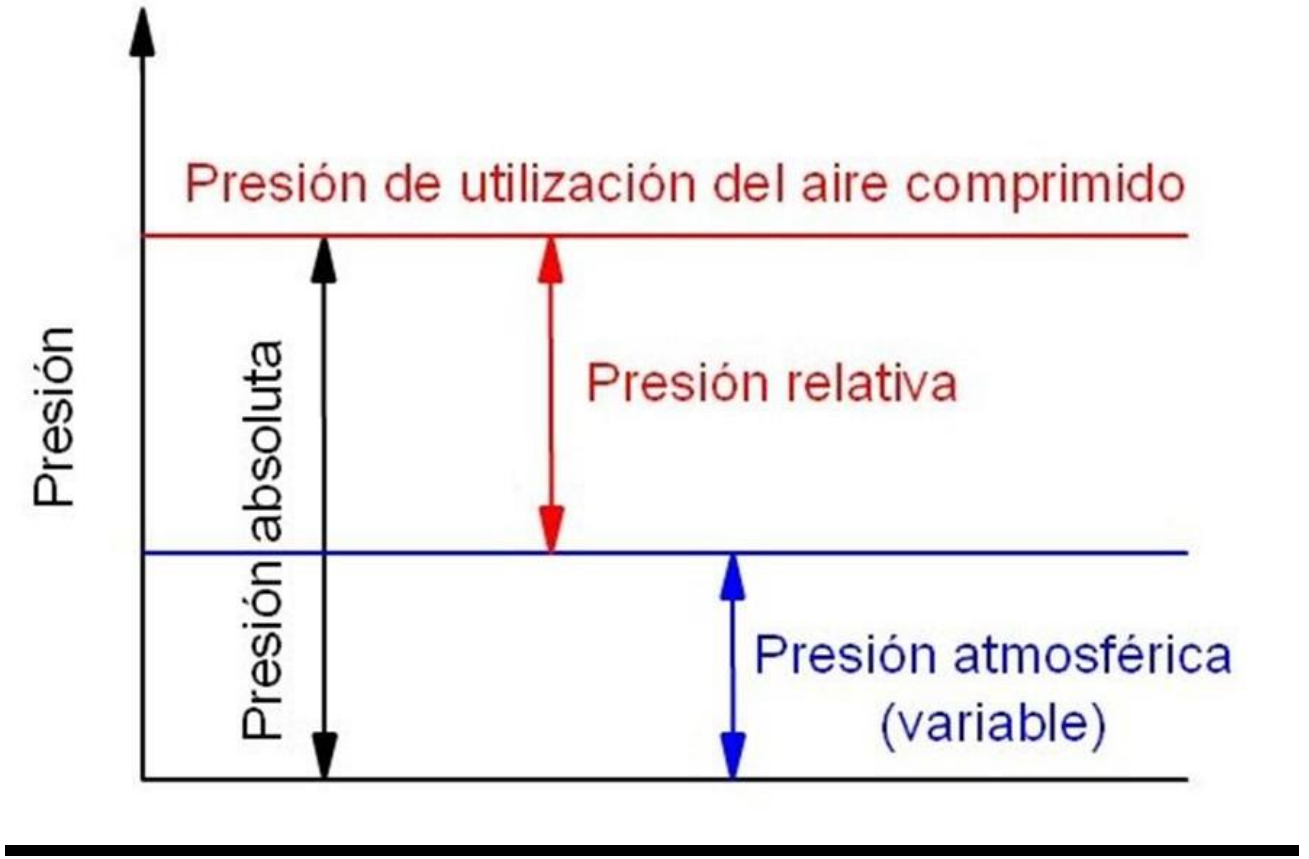
Caudal: es la cantidad de fluido que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo.

$$Caudal = \frac{Volumen}{tiempo} \quad , \quad Q = \frac{V}{t}$$

Potencia: es la presión que ejercemos multiplicada por el caudal.

$$Potencia = Presión \cdot Caudal \quad , \quad W = P \cdot Q$$

NEUMATICA: Aire comprimido



Ventajas

- Es abundante (disponible de manera ilimitada).
- Transportable (los conductos de retorno son innecesarios).
- Se puede almacenar (permite el almacenamiento en depósitos).
- Resistente a las variaciones de temperatura.
- Es seguro, antideflagrante (no existe peligro de explosión ni incendio).
- Limpio (lo que es importante para industrias como las químicas, alimentarias, textiles, etc.).
- Los elementos que constituyen un sistema neumático, son simples y de fácil comprensión.
- La velocidad de trabajo es alta.
- Tanto la velocidad como las fuerzas son regulables de una manera continua.
- Aguanta bien las sobrecargas (no existen riesgos de sobrecarga, ya que cuando ésta existe, el elemento de trabajo simplemente para sin daño alguno).

Desventajas

- Necesita de preparación antes de su utilización (eliminación de impurezas y humedad).
- Debido a la compresibilidad del aire, no permite velocidades de los elementos de trabajo regulares y constantes.
- Los esfuerzos de trabajo son limitados (de 20 a 30000 N).
- Es ruidoso, debido a los escapes de aire después de su utilización.

HIDRAULICA:

Fluidos hidráulicos

Cuando el fluido que utilizamos no es el aire, sino un líquido que no se puede comprimir, agua, aceite, u otro. Los fundamentos físicos de los gases se cumplen considerando el volumen constante.

El fluido que normalmente se utiliza en los circuitos hidráulicos es aceite y los sistemas se llaman oleo hidráulicos.

Ventajas

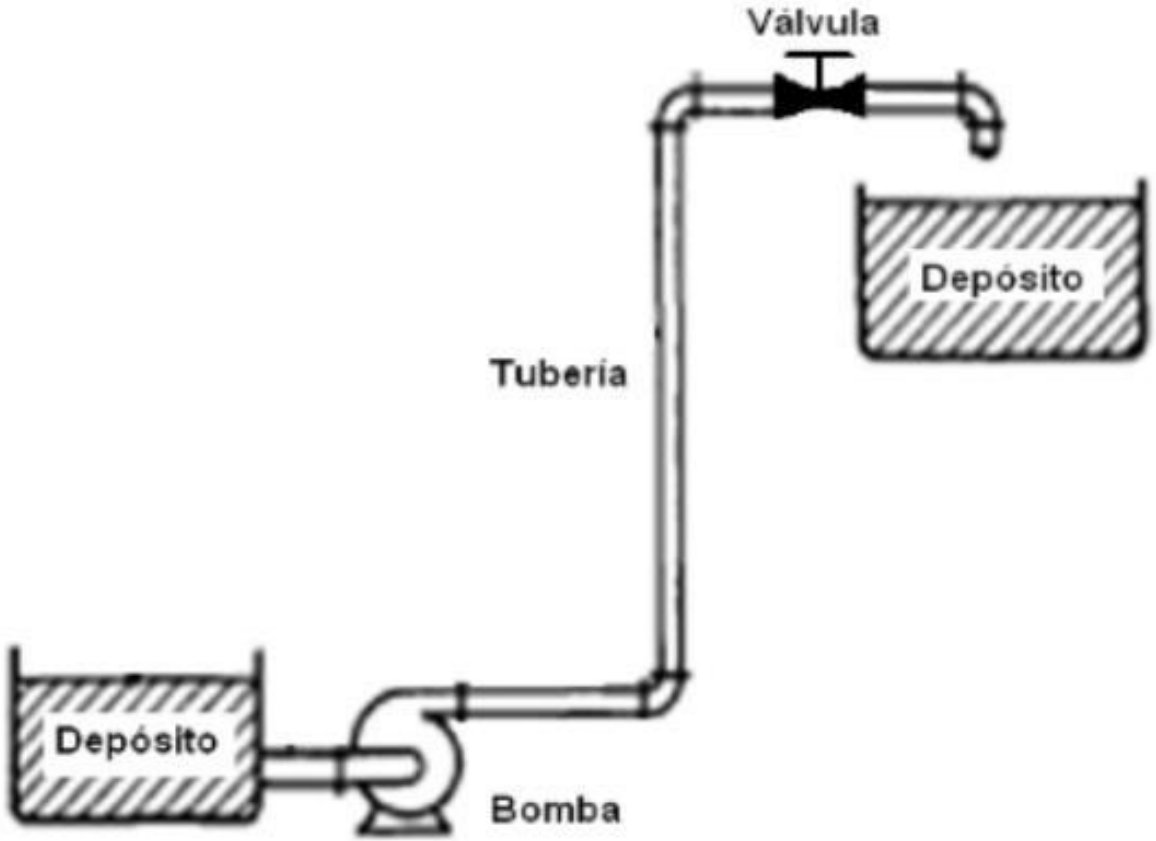
Permite trabajar con elevados niveles de fuerza o momentos de giro.
El aceite empleado en el sistema es fácilmente recuperable.
La velocidad de actuación es fácilmente controlable.
Las instalaciones son compactas.
Protección simple contra sobrecargas.
Pueden realizarse cambios rápidos de sentido.

Desventajas

El fluido es más caro.
Se producen perdidas de carga.
Es necesario personal especializado para la manutención.
El fluido es muy sensible a la contaminación.

TRANSPORTE Y

MEDICION DE FLUIDOS


Válvula
Depósito
Tubería
Depósito
Bomba

Trata con problemas de transporte de fluidos de un lugar a otro y con frecuencia debe medir las velocidades de flujo. Pueden ser líquidos, gases y hasta sólidos.

- En los procesos industriales, los fluidos casi siempre se transportan en canales cerrados, a veces de sección transversal cuadrada, rectangular o circular, siendo esta última la más frecuente.

CONSIDERACIONES

- Características físicas y químicas
- Elementos para la conducción.
- Elementos para energización.
- Elementos para almacenamiento.

CONSIDERACIONES EN LIQUIDOS

- Fluido incompresible.
- Flujo: Laminar y Turbulento.
- Temperatura.
- Composición química.
- Viscosidad.
- Partículas en suspensión o disueltas.
- Peligrosidad.
- Presión.

CONSIDERACIONES EN GASES

- Fluido Compresible.
- Responden al primer y segundo principio de la termodinámica.
- Se comportan como gases reales, pero para simplificar los cálculos, se los considera como gases ideales.
- Perdidas por fricción dentro de la tubería.
- Temperatura.
- Partículas en suspensión o disueltas.
- Presión.

Tuberías y Tubos

- Sistema de Tuberías: conjunto de elementos destinados al transporte, distribución, regulación y control de fluidos.
- Pueden transportar:
  - Productos de servicio, como ser agua, vapor, combustibles, aire comprimido, etc.
  - Productos en procesos de fabricación.
  - Productos terminados.

- Tuberías tienen pared gruesa y diámetros relativamente grandes y vienen en longitudes de 6 a 12 m; el tubo tiene una pared delgada y generalmente viene en rollos de varios cientos de pies de longitud.
- A las tuberías metálicas se les puede hacer roscas, mientras que a los tubos no.
- Las paredes de las tuberías son por lo general ligeramente rugosas; los tubos tienen paredes muy lisas.
- Los tramos de las tuberías se unen por bridas, tornillos, roscas o accesorios soldados; las piezas de los tubos por accesorios de compresión o soldados.

- Por último, los tubos se fabrican por extrusión o laminación en frío, mientras que las tuberías metálicas se hacen por soldadura, fundición, o mediante molduras o prensas.
- El cloruro de polivinilo, o PVC, es ampliamente utilizado como tubería en las conducciones de agua residual. En las plantas de proceso, el material más común es el acero de bajo contenido de carbono, con el que se fabrica la llamada tubería de hierro negro. Con frecuencia se utilizan también las tuberías de hierro forjado y de fundición para propósitos especiales.

Identificación mediante colores – Normas IRAM 2507

PRODUCTOS	COLOR DE IDENTIFICACION
Elementos de lucha contra Incendios	Rojo
Vapor de Agua	Naranja
Aire Comprimido	Azul
Electricidad	Negro
Vacío	Castaño
Agua Fría	Verde
Agua Caliente	Verde con Franjas Naranjas
Materia Prima	
Inofensiva a la Seguridad Personal	Gris
Peligrosa	Gris con Franjas Naranjas

Objetivos de Diseño

- Mínima perdida de Calor
- Mínima perdida de presión.
- Mínimo mantenimiento y costo de explotación.

+ Coste
+ Pérdidas calor
+ Condensado

+ Velocidad
+ Caída de presión
+ Erosión

Factores para el diseño

- Fluido a conducir. (Con sus propiedades). Su presión y temperatura, al inicio y en los puntos requeridos
- Su caudal
- Corrosión interna o externa por condiciones ambientales dónde estará instalado el S.T.
- Seguridad
- Económicos: Pueden llegar a representar el 25 al 40% del costo total de la instalación.
- Y, las pérdidas de carga serán los factores que en principio determinarán las dimensiones del sistema de cañería.

FUNDAMENTOS FISICOS

NEUMATICA

Las relaciones matemáticas utilizadas para presiones del aire inferior a los 12 bares, son las correspondientes a las de los gases perfectos.

La ley de los gases perfectos relaciona tres magnitudes, presión (P), volumen (V) y temperatura (T), mediante la siguiente fórmula:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde :

P = presión (N/m^2).
V = volumen especifico (m^3/kg) .
m = moles de aire.
R = constante del aire (R = 8,31 J/mol·K).
T = temperatura (K)

Las tres magnitudes P, V y T pueden variar, pero si mantenemos constante una de ellas, la ley de los gases perfectos queda reducida y podemos establecer la relación entre dos estados distintos, según se resume en la siguiente tabla:

Magnitud constante	**Ley de los gases perfectos**	**Relación entre dos estados**	**Ley de …**
Temperatura	$P \cdot V = cte.$	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$	Boyle-Mariotte
Presión	$V/T = cte.$	$V_1/T_1 = V_2/T_2$	Gay- Lussac
Volumen	$P/T = cte.$	$P_1/T_1 = P_2/T_2$	Charles

Fluidos hidráulicos

Cuando el fluido que utilizamos no es el aire, sino un líquido que no se puede comprimir, agua, aceite, u otro. Los fundamentos físicos de los gases se cumplen considerando el volumen constante.

Una consecuencia directa de estos fundamentos es el llamado **Principio de Pascal**, que dice:
"Cuando se aplica presión a un fluido encerrado en un recipiente, esta presión se transmite instantáneamente y por igual en todas direcciones del fluido".

Como aplicación podemos ver como dos pistones unidos mediante un fluido encerrado, si le aplicamos una fuerza (F1) a uno de ellos, se transmite la presión hasta el otro, y produce una fuerza (F2) en el segundo. Las ecuaciones que rigen este principio son:

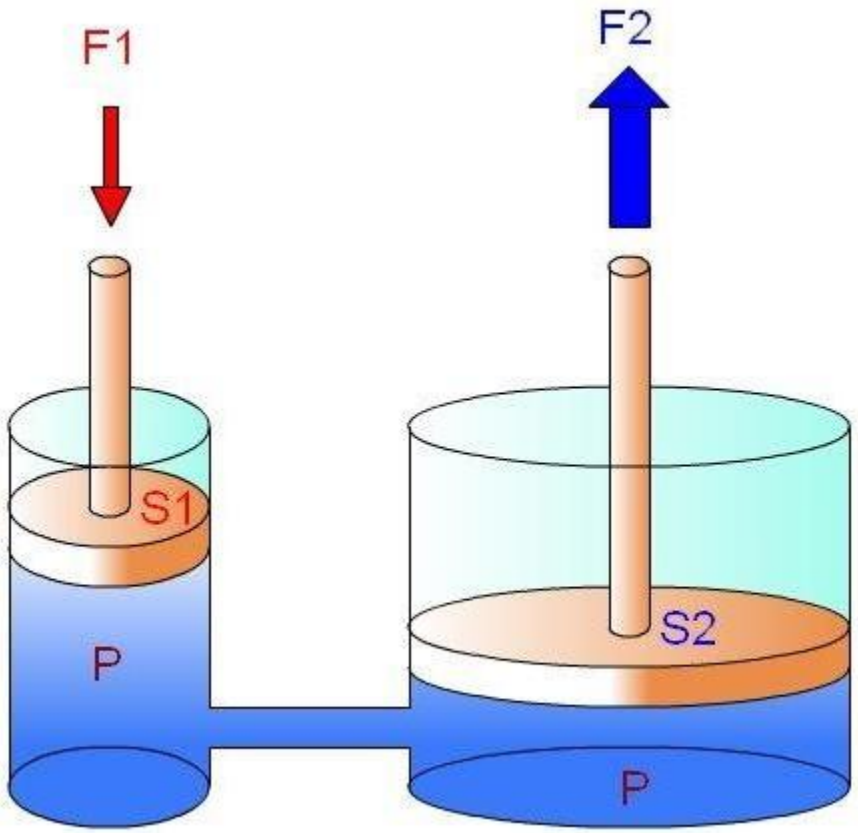
$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} \qquad y \qquad P_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Donde:

P = presión

F = fuerza

S = superficie.



Por el Principio de Pascal sabemos que la presión es igual en todos los puntos:

Luego: $P_1 = P_2$ y por tanto: $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ o de otra forma: $F_1 \cdot S_2 = F_2 \cdot S_1$

Nos dice que en un pistón de superficie pequeña cuando aplicamos fuerza, esta se transmite al pistón de superficie grande amplificada o a la inversa.

Diseño Mecánico

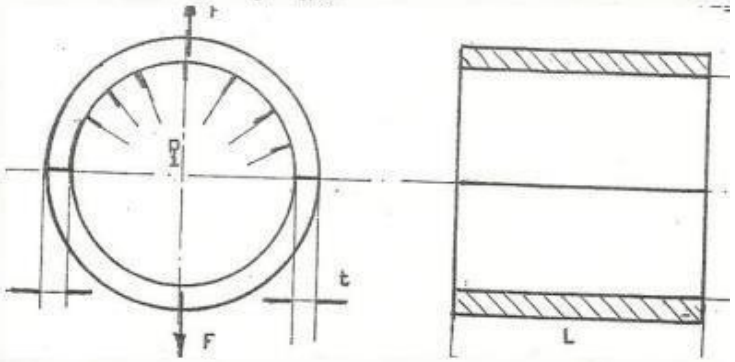
- Determinar espesor: Efectos de la temperatura, soldadura, corrosión para soportar la presión interna.
- Esfuerzos: Distancia entre apoyos, dilataciones/contracciones.

1) Fuerza interna provocada por la presión interna del fluido (kg)

$$F : p_i \times d_i \times L \qquad (1)$$

2) Fuerza resistente del material en la zona de rotura

$$F : \bar{V}_a \times t \times 2 \cdot L \qquad (2)$$



3) Igualando la Fla (1) y (2) tenemos:

$$p_i \times d_i \times L = \bar{V}_a \times 2t \times L$$

Imagen tomada de: CAÑERÍAS PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. S.O. GENTILE.

despejando el espesor "T" tenemos:

$$t \simeq \frac{p_i \times d_i}{2 \times \bar{V}_{a(T)}} + C \qquad (3)$$

Si queremos determinar la presión admisible para un determinado espesor elegido tendremos:

$$p_a \simeq \frac{2 \times \bar{V}_{aT} (t - C)}{d_i} \qquad (4)$$

El valor obtenido del espesor resultado de la ffórmula (3) nos sirve para adopta el espesor comercial que más se acerque al obtenido.-

Si nosotos quisieramos hacer intervenir el factor de soldadura en los caños con costura (valores de E que llegan a valer de 1 a 0,7) la fórmula (3) tendrá la forma:

$$t = \frac{p_i \times d_i}{2 \times \bar{V}_{a(T)} \times E} + C \qquad (3'')$$

Y la fórmula (4) pasará a tener la forma:

$$p_a = \frac{2 \times \bar{V}_{a(T)} (t - C) \times E}{d_i} \qquad (4'')$$

CALCULO SEGUN EL CODIGO ASME PARA RECIPIENTES A PRESIO

La fórmula de la presión está extresada en la siguiente forma:

$$\phi = \frac{2 \times \bar{V}_{a_T} \times E \ (\ tmin - C)}{De - 2 \times Y \ (\ tmin - C)} \qquad (5)$$

Imagen tomada de: CAÑERÍAS PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. S.O. GENTILE.

DONDE:

p_t: Presion de trabajo admisible Kg/cm^2

$\bar{V}_{a_T}$: Tensión admisible del material a la temperatura de trabajo Kg/cm^2

E : Eficiencia de la soldadura E:1 para caño sin costura ,soldadura radiografiada.-
E menor de 0,8 hasta 0,7 no aconsejable.-

t min: espesor mínimo del caño mm

C : Constante por corrosión mm

Y : Constante debido a la temperatura, función del material y de la temperatura tabulado

VALORES DE "Y"

Material	450ºC	510ºC	540ºC
Ferrosos	0,4	0,5	0,7
Aleación	0,4	0,4	0,4

VALORES DE ""C""

Ø del caño	C mm
1/2" a 3 1/2"	1,65
mayor de 4"	----

Imagen tomada de: CAÑERÍAS PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. S.O. GENTILE.

Número adimensional que representa el espesor de un conjunto de caños que mantiene la relación, Presión interior y Resistencia mecánica.

La fórmula del Schedule es la siguiente:

$$SH = 1000 \cdot \frac{p_i}{\sigma_{adm(t)}}$$

DONDE:

SH = Schedule, número adimensional

1000 = Constante

$\sigma_{adm(t)}$ = Tensión admisible del material a la temperatura del ensayo.- Kg/cm^2

p_i = Presión interna de trabajo Kg/cm^2

Imagen tomada de: CAÑERÍAS PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. S.O. GENTILE.

Espesor de Pared

- **N° Schedule**
  - Las Normas definen 11 números Schedules:
    - 5, 10, 20, 30, **40**, 50, 60, **80**, 120, 140, **160**.
  - Los caños de fabricación estándar son:
    - SCH 40 (Esp. STD hasta 10'') – Bajas presiones
    - SCH 80 (Esp. XS hasta 10'') – Medias presiones
    - SCH 160 (Esp. XXS hasta 10'') – Altas presiones
  - El resto de los N° SCH no son de fabricación común y en algunas relación de espesores / diámetros son directamente fabricados a pedidos

ACEROS PARA CAÑERIAS : PROPIEDADES FISICAS : FUNCION DE:
MATERIAL - PRESION - TEMPERATURA

Imagen tomada de: CAÑERÍAS PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. S.O. GENTILE.

MATERIAL: ACERO AL CARBONO
ASTM A. 53 Gr A
ASTM A. 106 Gr A

Temperatura °C ⟶				-30 a 340º	341 a 370º	371 a 400º	401 a 410º
				TENSION DE TRABAJO - $\sigma_{adm.}$ Kg/cm² (material)			
				860 Kg/cm²	832 Kg/cm²	764 Kg/cm²	700 Kg/cm²
$\emptyset_n$ Pulg	De m-m	SH	Esp mm	PRESION MAXIMA DE TRABAJO [Kg/cm²] (fluido)			
1/2"	21.3	40	2,76	62	60	55	51
	21.3	80	3.73	139	133	122	112
	21.3	160	4.77	222	216	198	182
	21.3	---	7,46	473	459	421	388
3/4"	26.7	40	2.87	56	54	50	46
	26.7	80	3.91	119	115	106	98
	26.7	160	5.56	236	230	202	186
	26.7	--	7.82	391	380	349	321
1"	33.4	40	3.38	68	66	60	55
	33.4	80	4.54	125	122	112	103
	33.4	160	6.35	218	212	195	179
	33.4	---	9.09	375	364	335	308

Diseño Hidráulico

El flujo en una cañería o ducto puede ser laminar o turbulento, distinguiéndose ellos por el análisis de su número de Reynolds.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} < 2100 \quad \text{(flujo laminar)}$$

$Re < 2100$ Régimen laminar

$2100 < Re < 4000$ Régimen de transición

$4000 < Re < 10000$ Régimen prácticamente turbulento

$Re > 10000$ Régimen turbulento

Diámetros equivalentes para ductos no circulares

- Diámetro Hidráulico

$$D_h = \frac{4 \cdot \text{área de flujo}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{4A}{p}$$

- Ducto Circular

$$D_h = \frac{4A}{p} = \frac{4\pi D^2/4}{\pi D} = D$$

- Ducto Rectangular

$$D_h = \frac{4hw}{2h+2w} = \frac{2hw}{h+w}$$

Ecuación de movimiento de flujo en un ducto

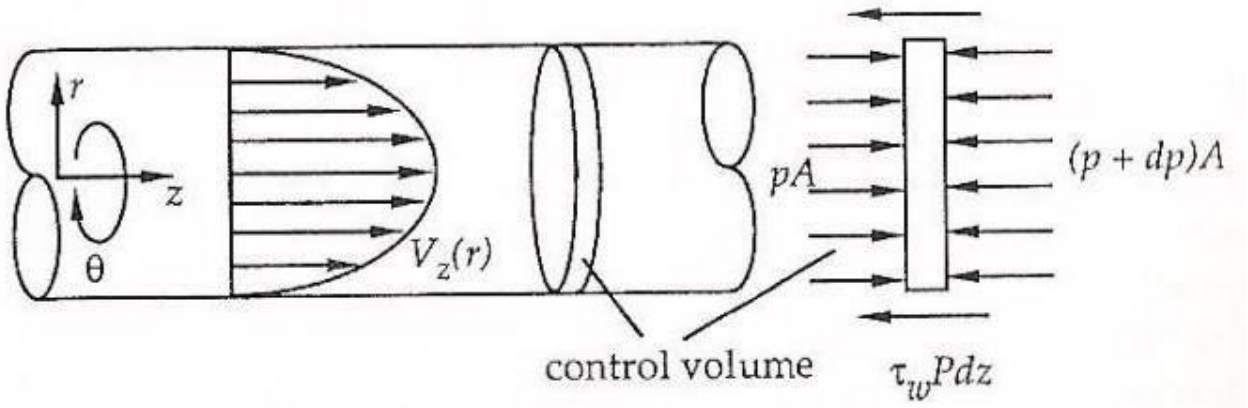


FIGURE 3.2. *Laminar flow in a circular duct.*

$$f = \frac{4\tau_w}{\rho V^2/2}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{f L}{D_h}\frac{V^2}{2g}$$

$$\begin{pmatrix} altura \\ hidráulica \end{pmatrix} + KE + PE \Big)_1 = \begin{pmatrix} altura \\ hidráulica \end{pmatrix} + KE + PE \Big)_2 + \begin{pmatrix} pérdida\,de\,energía \\ por\,fricción \end{pmatrix}$$

Factor de fricción y rugosidad en una tubería

- Flujo laminar de un fluido newtoniano en una tubería circular

$$f = \frac{32\mu}{\rho V R} = \frac{64\mu}{\rho V D} \longrightarrow \boxed{f = \frac{64}{\mathrm{Re}}}$$

- Flujo turbulento en una tubería circular

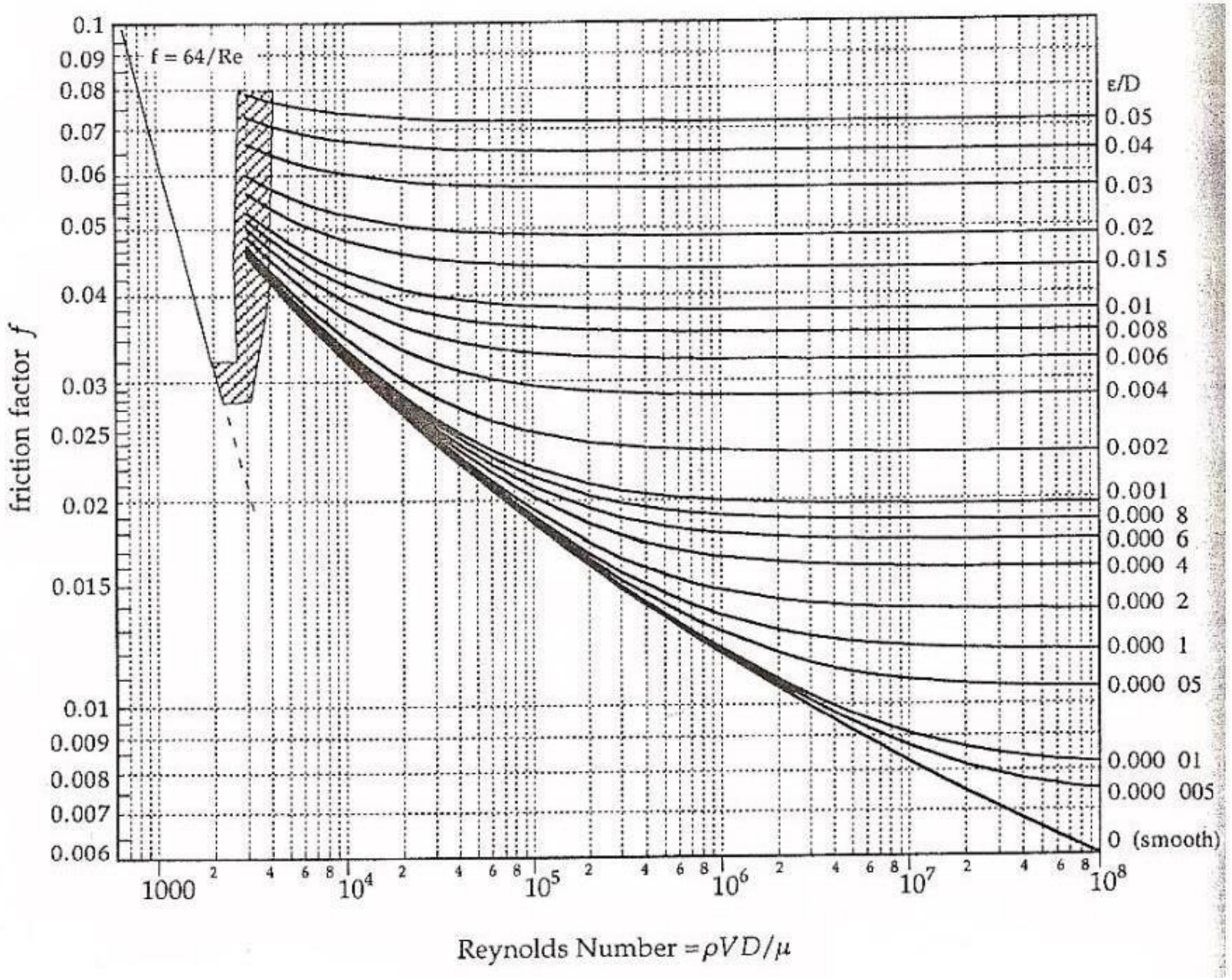
$$f = \left[-2{,}0 \log \left\{ \frac{\varepsilon}{3{,}7065 D} - \frac{5{,}0452}{\mathrm{Re}} \log \left(\frac{1}{2{,}8257} \left[\frac{\varepsilon}{D} \right]^{1{,}1098} + \frac{5{,}8506}{\mathrm{Re}^{0{,}8981}} \right) \right\} \right]^{-2}$$

Los valores de la rugosidad relativa se obtienen de tablas que incluyen los materiales y procesos de fabricación más usuales de tuberías

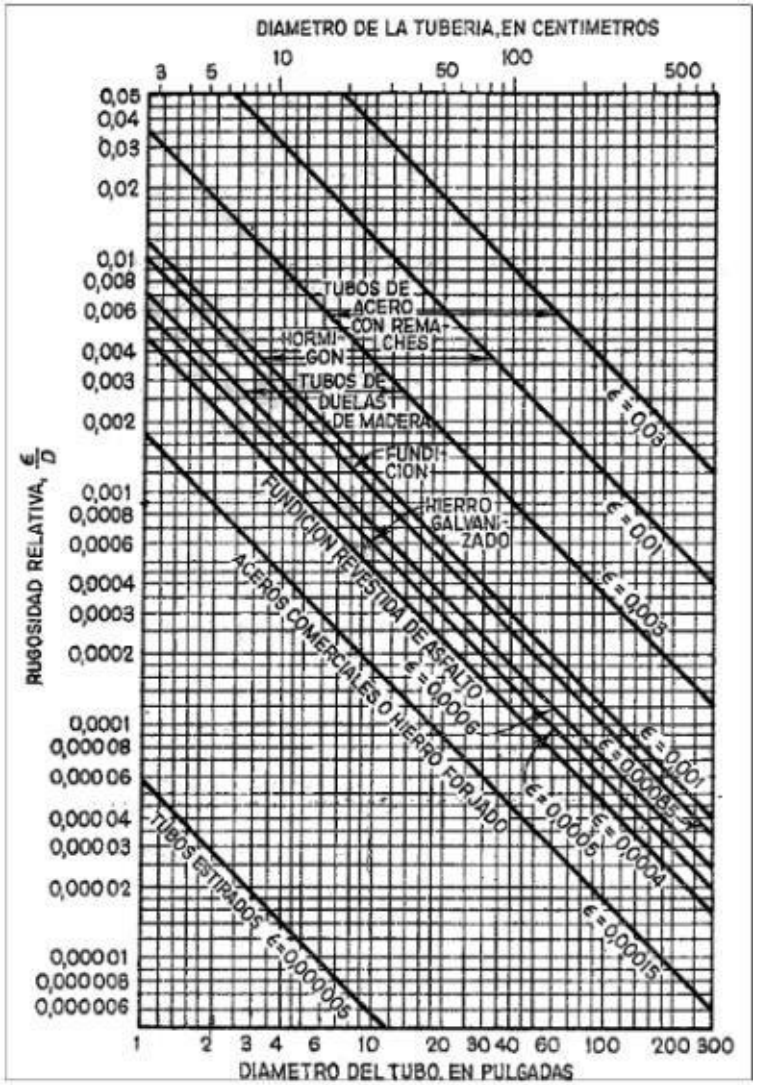
TABLE 3.1. *Roughness factor for various pipe materials.*

Pipe Material	ε, ft	ε, cm
Steel		
Commercial	0.00015	0.004 6
Corrugated	0.003–0.03	0.09–0.9
Riveted	0.003–0.03	0.09–0.9
Galvanized	0.0002–0.0008	0.006–0.025
Mineral		
Brick sewer, Cement–asbestos, Clays, Concrete	0.001–0.01	0.03–0.3
Wood stave	0.0006–0.003	0.018–0.09
Cast iron	0.00085	0.025
Asphalt coated	0.0004	0.012
Bituminous lined	0.000008	0.000 25
Cement lined	0.000008	0.000 25
Centrifugally spun	0.00001	0.000 31
Drawn tubing	0.000005	0.000 15
Miscellaneous		
Brass, Copper, Glass, Lead, Plastic, Tin	0.000005	0.000 15
Galvanized	0.0002–0.0008	0.006–0.025
Wrought iron	0.00015	0.004 6
PVC	Smooth	Smooth

Los datos para el factor de fricción se pueden obtener del diagrama de Moody



Rugosidad relativa en función al diámetro para tubos de diversos materiales



Fórmula de Darcy-Weisbach

$$F = f\left(\frac{L+\sum L_{eq}}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2gc}\right) \quad \ldots (32)$$

F = pérdida de carga por fricción (se denota con F en la ecuación general de balance de energía)

f = factor o coeficiente de fricción

v = velocidad lineal media del orificio

L = Longitud del tubo

L_{eq}= Longitud equivalente

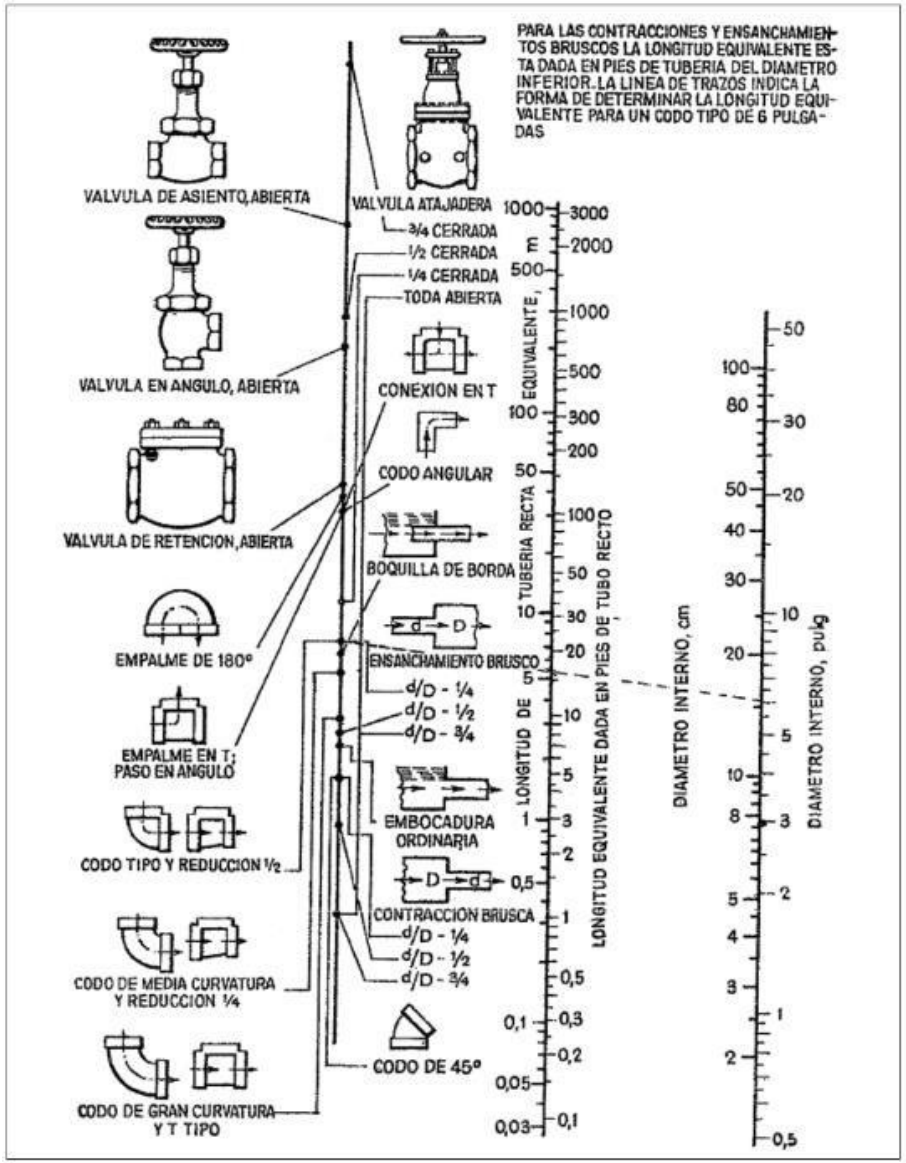
D = Diámetro interior del tubo

gc= constante gravitacional (factor de conversión)

Calculo de accesorios

$$F = K \frac{v^2}{2}$$

Donde K recibe el nombre de coeficiente de resistencia o de pérdidas menores. Este coeficiente se calcula mediante gráficos, según el tipo de accesorio.


PARA LAS CONTRACCIONES Y ENSANCHAMIENTOS BRUSCOS LA LONGITUD EQUIVALENTE ESTA DADA EN PIES DE TUBERIA DEL DIAMETRO INFERIOR. LA LINEA DE TRAZOS INDICA LA FORMA DE DETERMINAR LA LONGITUD EQUIVALENTE PARA UN CODO TIPO DE 6 PULGADAS
VALVULA DE ASIENTO, ABIERTA
VALVULA EN ANGULO, ABIERTA
VALVULA DE RETENCION, ABIERTA
EMPALME DE 180°
EMPALME EN T; PASO EN ANGULO
CODO TIPO Y REDUCCION 1/2
CODO DE MEDIA CURVATURA Y REDUCCION 1/4
CODO DE GRAN CURVATURA Y T TIPO
VALVULA ATAJADERA
3/4 CERRADA
1/2 CERRADA
1/4 CERRADA
TODA ABIERTA
CONEXION EN T
CODO ANGULAR
BOQUILLA DE BORDA
ENSANCHAMIENTO BRUSCO
d/D - 1/4
d/D - 1/2
d/D - 3/4
EMBOCADURA ORDINARIA
CONTRACCION BRUSCA
d/D - 1/4
d/D - 1/2
d/D - 3/4
CODO DE 45°
LONGITUD EQUIVALENTE, m
LONGITUD DE TUBERIA RECTA
LONGITUD EQUIVALENTE DADA EN PIES DE TUBO RECTO
DIAMETRO INTERNO, cm
DIAMETRO INTERNO, pulg

MEDICION DE FLUJO FLUIDOS

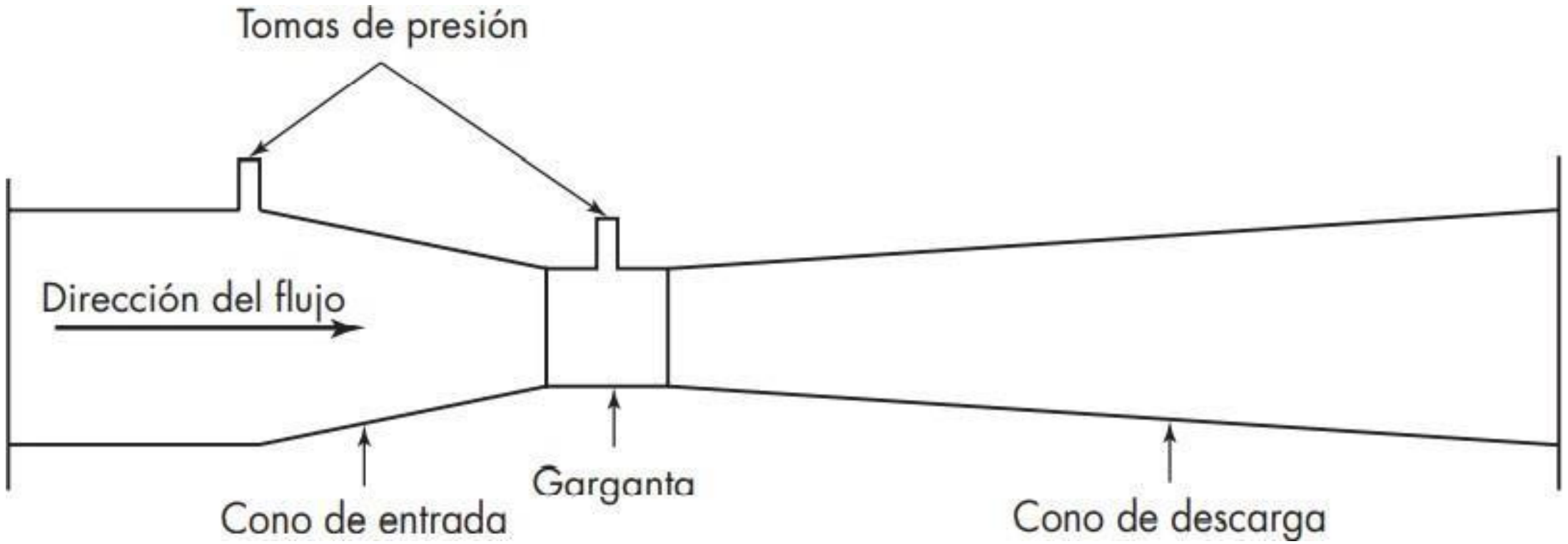
Para el control de los procesos industriales, es esencial conocer la cantidad de material que entra y sale del proceso.

La selección de un medidor se basa en la aplicabilidad del instrumento a un problema específico, su costo de instalación y de operación, el intervalo de la velocidad de flujo a la que puede adaptarse (su capacidad de alcance), y su exactitud inherente. A veces una indicación aproximada de la velocidad de flujo es todo lo que se necesita; otras veces una medición sumamente exacta, normalmente de la velocidad de masa de flujo, se requiere para propósitos como controlar la alimentación de un reactor o transferir el resguardo del fluido de un propietario a otro.

Medidores de perforación total

Los tipos más comunes de medidores de perforación total son los medidores Venturi, los de orificio y los de área variable tales como los rotámetros. Otros aparatos de medición de perforación total incluyen los medidores de elemento-V, magnético, vórtice de derramamiento, turbina y de desplazamiento positivo; medidores ultrasónicos; y equipos de flujo másico tales como medidores de flujo Coriolis.

Medidor Venturi



Partiendo de la Ecuación de Bernoulli

$$\alpha_a \overline{V}_a^2 - \alpha_b \overline{V}_b^2 = \frac{2(p_a - p_b)}{\rho}$$

Llegamos a la ecuación

$$\overline{V}_b = \frac{1}{\sqrt{\alpha_b - \beta^4 \alpha_a}} \sqrt{\frac{2(p_a - p_b)}{\rho}}$$

D_a = diámetro de la tubería
D_b = diámetro de la garganta del medidor
β = relación de diámetros D_b/D_a

α: factor de corrección de la energía cinética.

Cu: coeficiente de Venturi, velocidad de aproximación no incluida, se determina experimentalmente. Es alrededor de 0.98 para tuberías con diámetro de 2 a 8 in. y alrededor de 0.99 para tuberías de tamaños mayores.

La velocidad de flujo volumétrica se calcula:

$$q = \overline{V}_b S_b = \frac{C_v S_b}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2(p_a - p_b)}{\rho}}$$

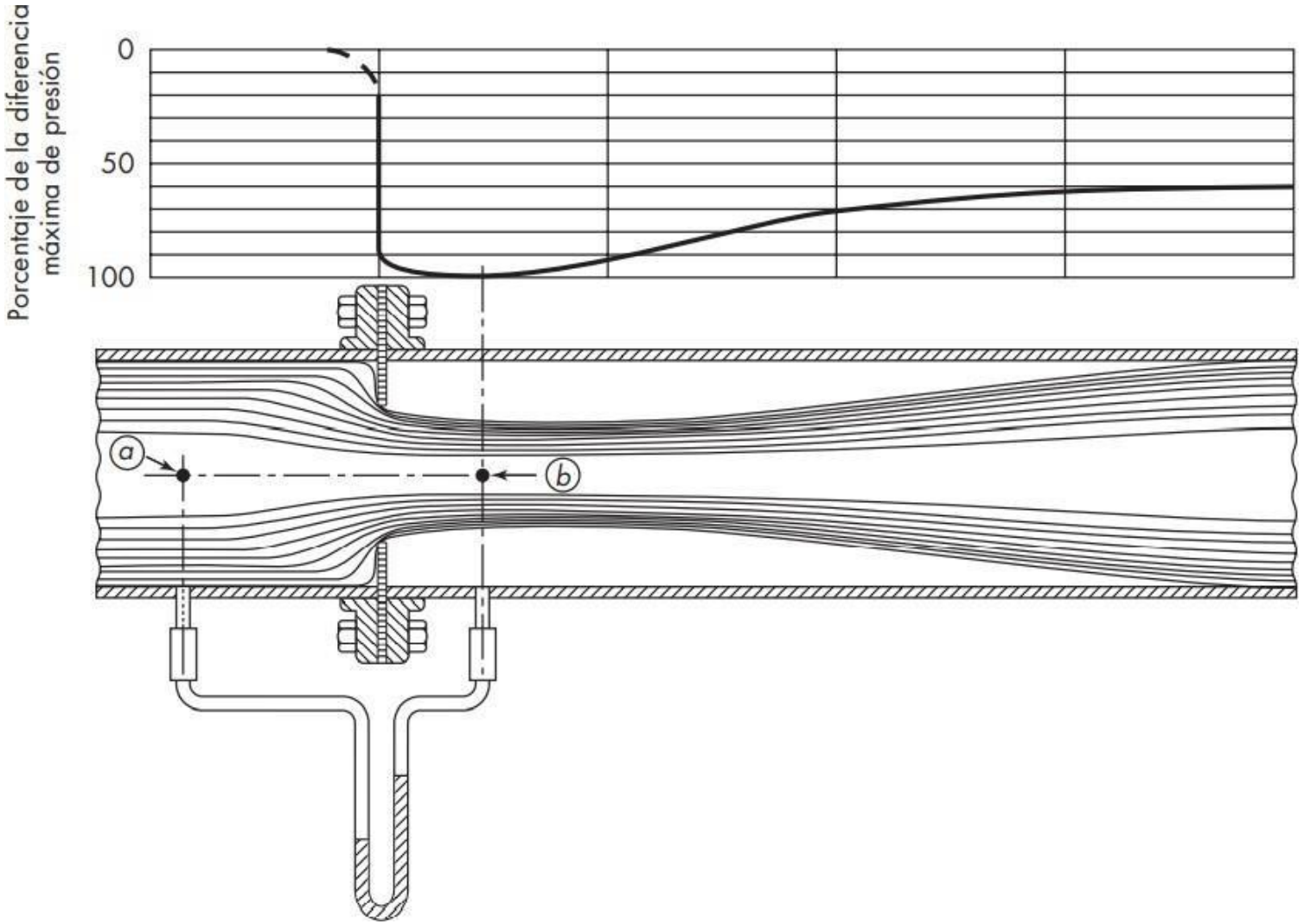
La velocidad másica de flujo

$$\dot{m} = q\rho = \frac{C_v S_b}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2(p_a - p_b)\rho}$$

Aunque los medidores Venturi pueden utilizarse para la medición de las velocidades de flujo del gas, éstos son más comúnmente empleados para líquidos, en especial cuando se trata de flujos grandes de agua, donde debido a las grandes presiones recuperadas, el Venturi requiere menos potencia que otros tipos de medidores.

El medidor Venturi tiene ciertas desventajas prácticas en las operaciones industriales ordinarias. Es caro, ocupa un espacio considerable y no se puede variar la relación entre el diámetro de la garganta y el diámetro de la tubería. Para un cierto medidor y un determinado sistema monométrico, la velocidad máxima de flujo medible está fijada, de forma que, si varía el intervalo de flujo, el diámetro de la garganta resulta demasiado grande para obtener una lectura exacta o demasiado pequeña para acomodarse a la nueva velocidad máxima de flujo.

Medidores de orificio



Datos para el diseño del medidor de orificio

Datos de las tomas de presión en el medidor de orificio

Tipo de toma	Distancia a la toma anterior desde la cara anterior del orificio	Distancia a la toma posterior desde la cara posterior del orificio
Brida	1 in. (25 mm)	1 in. (25 mm)
Vena contracta	1 diámetro de la tubería (interior real)	0.3-0.8 diámetros de la tubería, dependiendo de β
Tubería	$2\frac{1}{2}$ diámetros nominales de la tubería	8 diámetros nominales de la tubería

$$u_o = \frac{C_o}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2(p_a - p_b)}{\rho}}$$

C_o es el coeficiente de orificio, velocidad de aproximación no incluida. Este coeficiente corrige la contracción del chorro del fluido entre el orificio y la vena contracta, por fricción, y por αa y αb. El coeficiente Co se determina siempre experimentalmente, y también varía en forma considerable en función de los cambios en β y con el número de Reynolds en el orificio Re_o.

$$\mathrm{Re}_o = \frac{D_o u_o \rho}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{\pi D_o \mu}$$

D_o es el diámetro del orificio.

Esta ecuación es útil para el diseño porque Co es prácticamente constante e independiente de β cuando Reo es mayor que 30 000. Bajo estas condiciones Co se toma como 0.61 para tomas tanto de brida como de vena contracta.

Para la aplicación de los procesos, β debe estar entre 0.20 y 0.75. Si β es menor que 0.25, el término √1 – β 4 difiere en forma no significativa de la unidad.

Flujo de fluidos compresibles a través de Venturis y orificios

- Medidores de Venturi:

$$\dot{m} = \frac{C_v Y S_b}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2(p_a - p_b)\rho_a}$$

- Medidores de orificio:

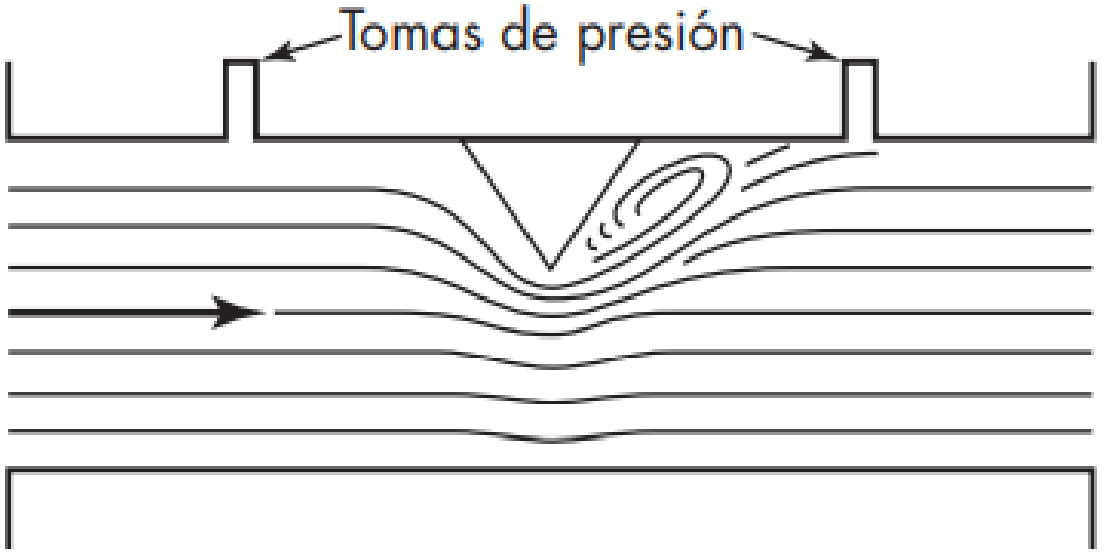
$$\dot{m} = 0.61\, Y S_o \sqrt{2(p_a - p_b)\rho_a}$$

$$Y = 1 - \frac{0.41 + 0.35\beta^4}{\gamma}\left(1 - \frac{p_b}{p_a}\right)$$

Y es el factor de expansión adimensional, y ρa es la densidad del fluido para las condiciones existentes en la corriente de entrada.

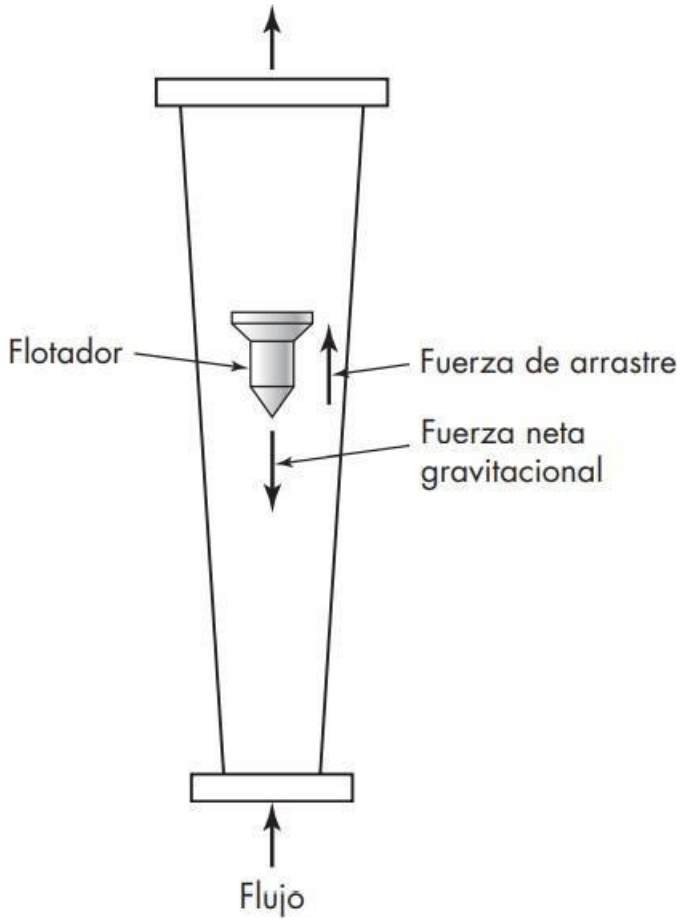
Medidores de elemento V

Éstos son equipos relativamente caros, pero su exactitud es alta, alrededor de ± 0.5% de la velocidad medida. Estos equipos miden velocidades de flujo de fluidos difíciles de manejar, tales como los líquidos que contienen partículas sólidas o gases no disueltos o que contengan gotas de condensado.



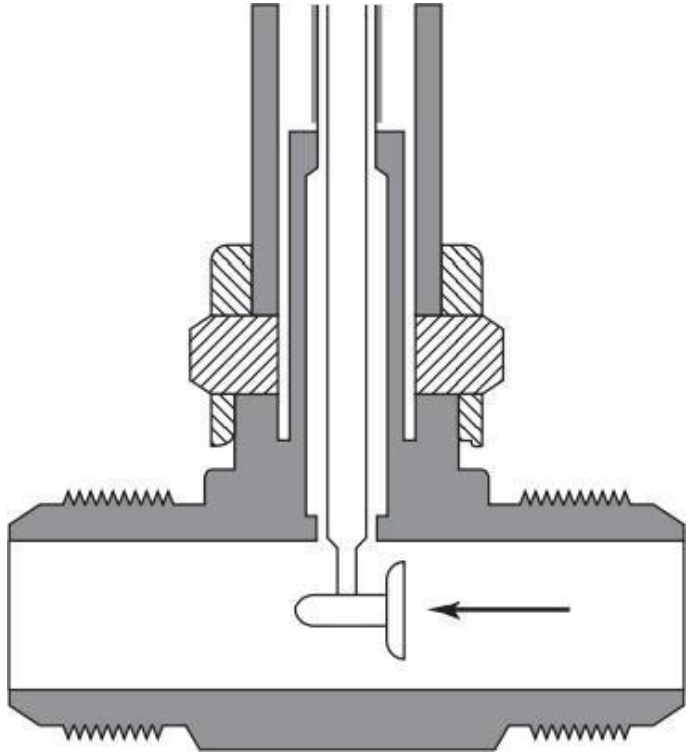
Medidores de área: rotámetros

El fluido asciende a través del tubo cónico y mantiene libremente suspendido a un flotador (que en realidad no flota sino que está sumergido por completo en el fluido). El flotador es el elemento indicador, y cuanto mayor es la velocidad de flujo, mayor es la altura que alcanza en el tubo. Toda la corriente del fluido tiene que circular a través del espacio anular que existe entre el flotador y la pared del tubo. El tubo está graduado y la lectura del medidor se obtiene de la escala con el borde de lectura del flotador, que corresponde a la mayor sección transversal del mismo. Se requiere de una curva de calibración para convertir la lectura de la escala en velocidad de flujo. Los rotámetros se utilizan tanto para la medida del flujo de líquidos, como para gases.



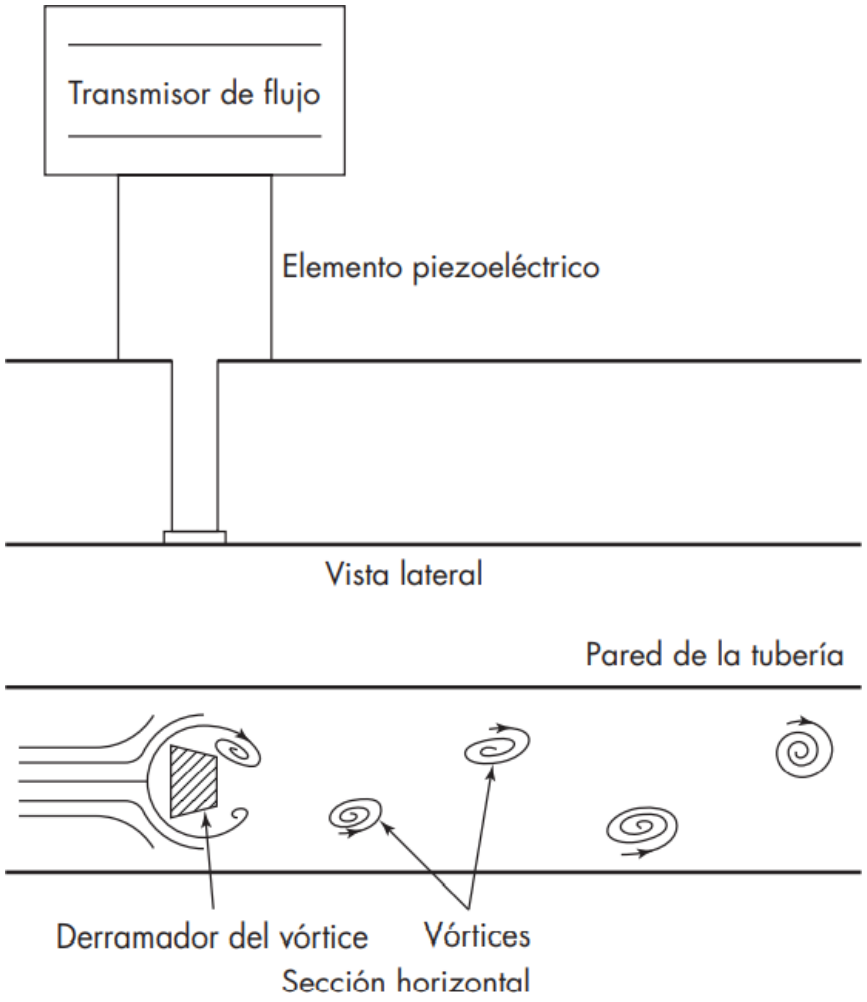
Medidores objetivo

Se coloca un disco de borde afilado en ángulo recto a la dirección del flujo, y se mide la fuerza de arrastre ejercida por el fluido sobre el disco. La velocidad de flujo es proporcional a la raíz cuadrada de esta fuerza y a la densidad del fluido. Los medidores objetivo son resistentes y económicos y pueden utilizarse con una variedad de fluidos, inclusive líquidos viscosos y suspensiones. Sin embargo, el mecanismo de la barra tiende a atorarse si los sólidos contenidos en la suspensión son muchos.



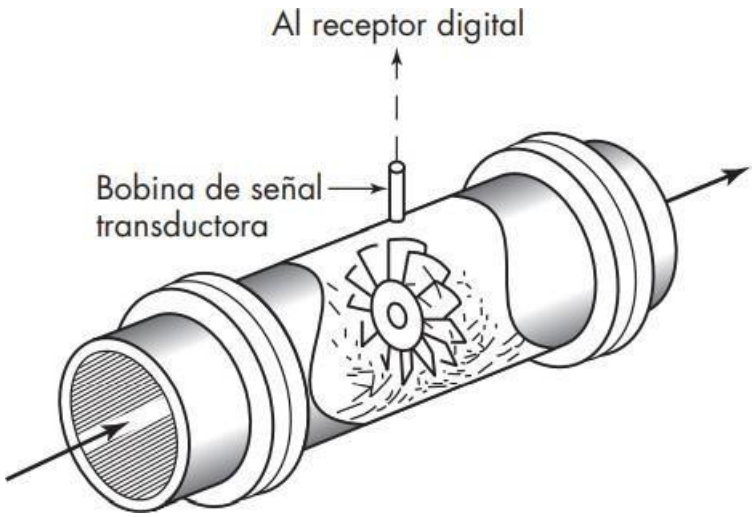
Medidores de desbordamiento de vórtice

Estos medidores son aplicables a muchos tipos de fluidos, incluyendo gas y vapor a temperaturas elevadas. El número mínimo de Reynolds requerido para dar una respuesta lineal es bastante alto, así que la velocidad de flujo de los líquidos altamente viscosos no puede medirse por este tipo de instrumento.



Medidores de turbina

En muchos modelos, las aspas del motor están hechas de un material magnético que induce un voltaje alternado en la bobina de señal transductora. En otros diseños la velocidad de rotación se detecta por un transductor de frecuencia de radio, con un transportador de señal de alta frecuencia modulada por las aspas girantes. Los medidores de turbina son excepcionalmente exactos cuando se utilizan en las condiciones adecuadas, pero tienden a ser frágiles y sus costos de mantenimiento son elevados



Medidores de desplazamiento positivo

Muchos de los sopladores y las bombas de desplazamiento positivo pueden hacerse funcionar como medidores de flujo, esencialmente contando el número de veces que el compartimiento móvil se llena y vacía. Aunque algunos modelos indican una velocidad de flujo, muchos de estos medidores miden el volumen total del fluido que pasa a través de la unidad. Los medidores de disco mutante, de pistón oscilante, de aspa móvil y otros tipos de medidores de desplazamiento positivo están disponibles. Éstos son muy exactos y aplicables a gases y líquidos limpios, inclusive los viscosos; de hecho, a viscosidades más altas, el funcionamiento mejora. Estos medidores no manejan líquidos sucios o suspensiones. Son relativamente caros y su operación resulta costosa.

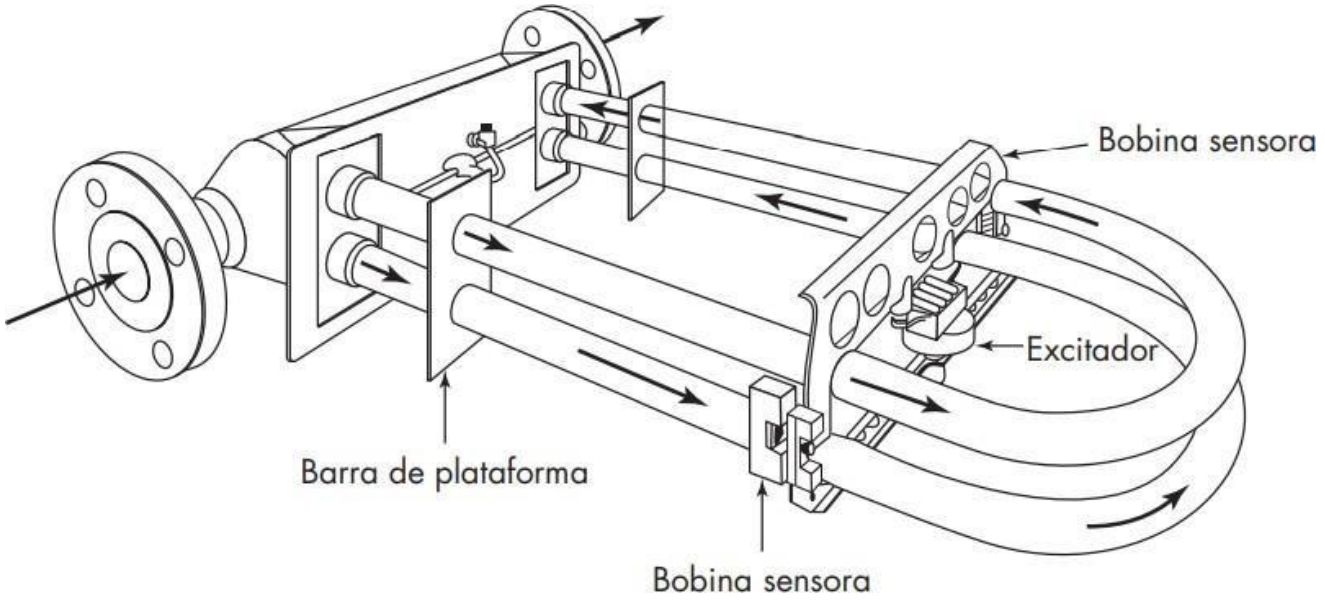
Medidores magnéticos

El tubo del flujo se alinea con un material no conductor con dos o más electrodos de metal instalados a lo largo de la pared. Las bobinas electromagnéticas alrededor del tubo generan un campo magnético uniforme dentro de éste. Por la ley de Faraday de la inducción electromagnética, el movimiento de un fluido conductor a través del campo magnético induce un voltaje que es directo y linealmente proporcional a la velocidad del fluido en movimiento. Medidores de flujo magnéticos comerciales son capaces de medir la velocidad de casi todos los líquidos a excepción de los hidrocarburos, los que tienen una conductividad eléctrica demasiado pequeña. Puesto que el voltaje inducido depende sólo de la velocidad, los cambios en la viscosidad o densidad del líquido no tienen efecto en la lectura del medidor.

Medidores ultrasónicos

Son de dos tipos: tiempo de propagación y desplazamiento Doppler. En el primer tipo, una onda de presión de alta frecuencia es radiada en un ángulo determinado a través de la tubería. La velocidad de la onda se determina a partir de su tiempo de propagación. Cuando la onda se transmite en la dirección del flujo, esta velocidad aumenta y viceversa. A partir del cambio en el tiempo de propagación de un fluido estático, se determina la velocidad del fluido. Los medidores de tiempo de propagación son aplicables solamente para fluidos limpios.

Medidores Coriolis



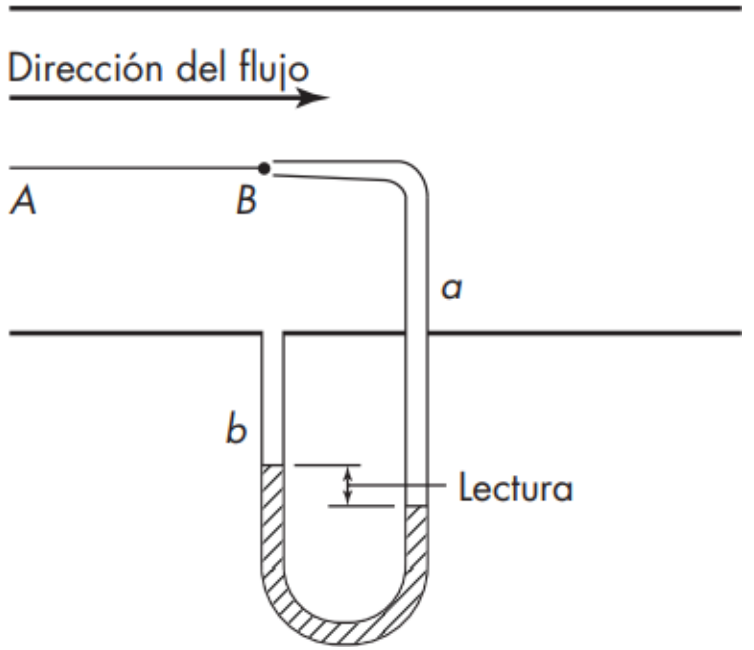
Un objeto que se mueve en un sistema rotatorio experimenta una fuerza Coriolis proporcional a su masa y la velocidad de avance y a la velocidad angular del sistema. Los medidores de tubo dual de Coriolis son sumamente precisos y miden directamente el flujo másico. Utilizados mayormente con tuberías de diámetro pequeño, son costosos en instalación y operación; en consecuencia, sus aplicaciones se limitan generalmente a fluidos difíciles o a situaciones donde su alta exactitud justifica su mayor costo.

Medidores de inserción

En este tipo de medidor, el elemento sensible es pequeño comparado con el tamaño del canal del flujo, por lo que se inserta dentro del flujo de la corriente. Pocos medidores de inserción miden la velocidad media de flujo, pero la mayoría miden la velocidad local en un solo punto. Por lo tanto, el posicionamiento del elemento sensible es importante si se determina la velocidad total del flujo

Tubo de Pitot

$$u_0 = \sqrt{\frac{2(p_s - p_0)}{\rho}}$$



Las desventajas del tubo de Pitot son: 1) la mayoría de los diseños no dan directamente la velocidad media, y 2) sus lecturas para gases son extremadamente pequeñas. Cuando se utiliza para medir gases a baja presión, debe emplearse algún tipo de medidor de presión multiplicador.

Medidores térmicos

Las velocidades de flujo entre 0.08 y 46 m/s (0.25 y 150 ft/s), que son de uso común, pueden medirse con una exactitud de ±1%.

Los medidores térmicos especiales son capaces de resistir temperaturas superiores hasta de 455 °C (850 °F), altos niveles de radiación, o fuertes vibraciones del conducto.

AGITACION Y MEZCLA DE LIQUIDOS

La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una manera específica, normalmente en un patrón circulatorio dentro de algún tipo de contenedor.

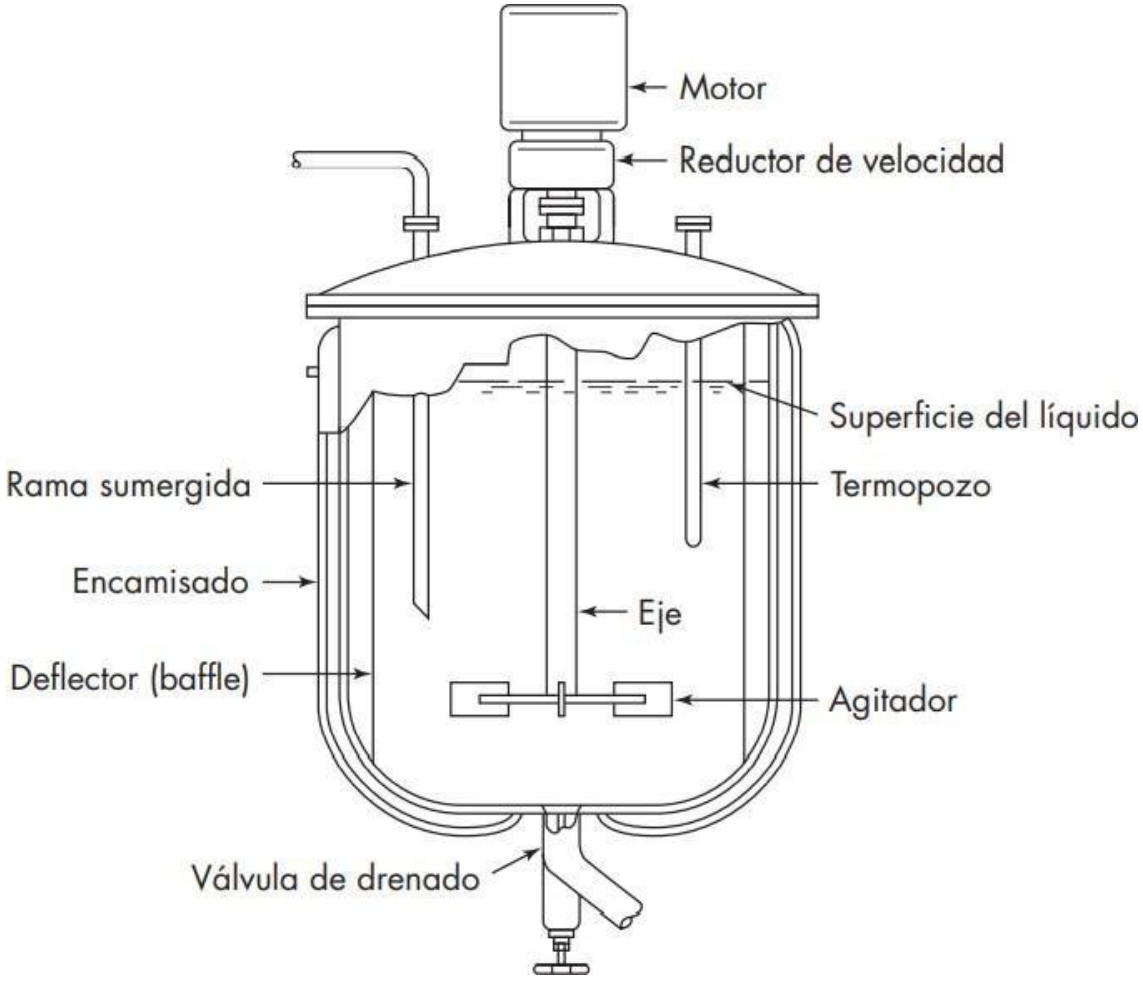
La mezcla es una distribución aleatoria, dentro y a través una de otra, de dos o más fases inicialmente separadas.

Propósitos de la agitación

- Suspensión de partículas sólidas.
- Mezclado de líquidos miscibles, por ejemplo, alcohol metílico y agua.
- Dispersión de un gas a través de un líquido en forma de pequeñas burbujas.
- Dispersión de un segundo líquido, inmiscible con el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas finas.
- Promoción de la transferencia de calor entre el líquido y un serpentín o encamisado.

TANQUES AGITADOS

El fondo del tanque es redondeado, no plano, para eliminar las esquinas o regiones agudas en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La profundidad (o altura) del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque.



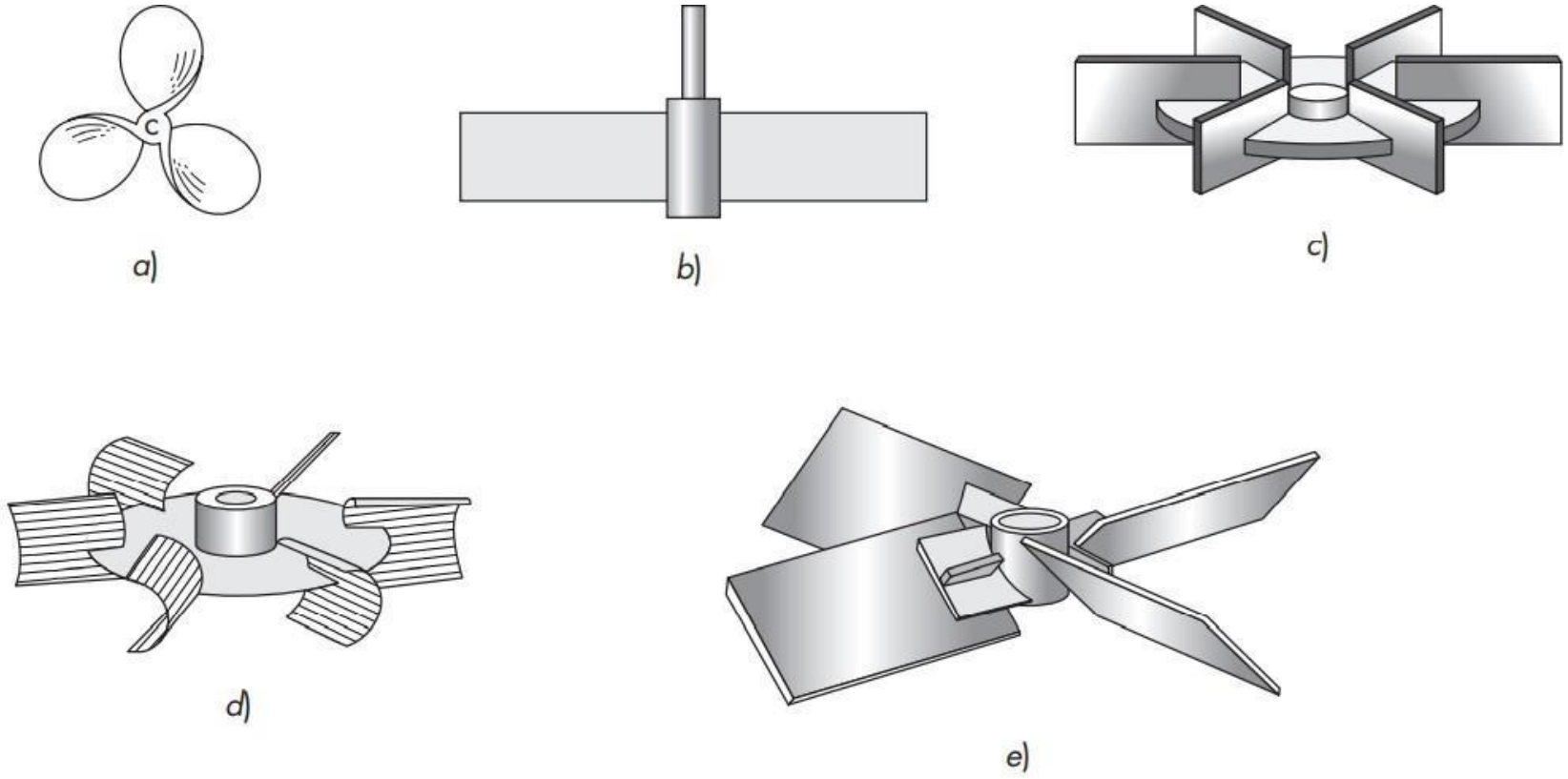
Impulsores

Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor se llaman impulsores de flujo axial; y aquellos que generan corrientes en dirección radial o tangencial se llaman impulsores de flujo radial.

Los tres principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia.

Para líquidos muy viscosos, los impulsores más adecuados son los de hélice y agitadores de anclaje.

Tipos de impulsores



Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: *a*) agitador marino de tres palas; *b*) turbina simple de pala recta; *c*) turbina de disco; *d*) agitador de pala cóncava CD-6 (*Chemineer, Inc.*); *e*) turbina de pala inclinada.

Hélices (propulsor)

Una hélice es un impulsor de flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, ya sea a 1.150 o 1.750 rpm; las grandes giran de 400 a 800 rpm. La dirección de la rotación se elige generalmente para impulsar el líquido a descender.

Las más comunes son las hélices marinas de tres palas con paso cuadrado; para propósitos especiales a veces se emplean hélices de cuatro palas, dentadas y otros diseños. Las hélices rara vez superan las 18 pul. de diámetro.

Turbinas

En los tanques de proceso, los agitadores industriales típicos de paletas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.

La turbina de disco, con palas múltiples rectas instaladas en un disco horizontal, como el agitador de pala recta, crea zonas de alta velocidad de corte. Esta turbina es especialmente útil para la dispersión de un gas en un líquido.

Una turbina de pala inclinada se emplea cuando la circulación global es importante.

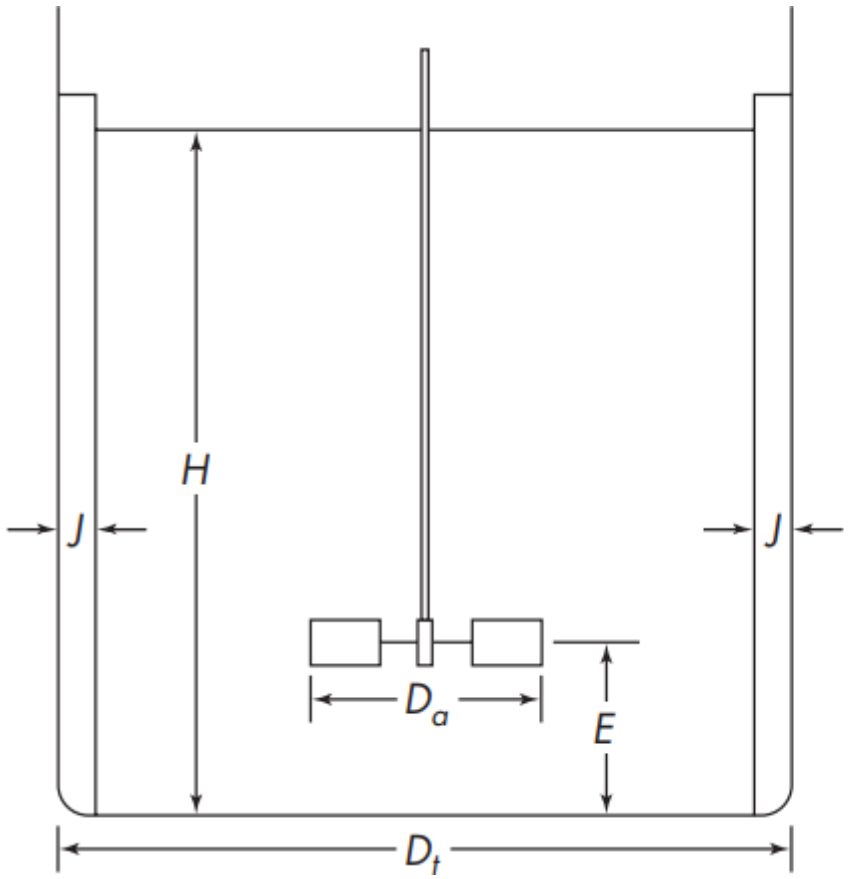
Diseño “estándar” de turbina

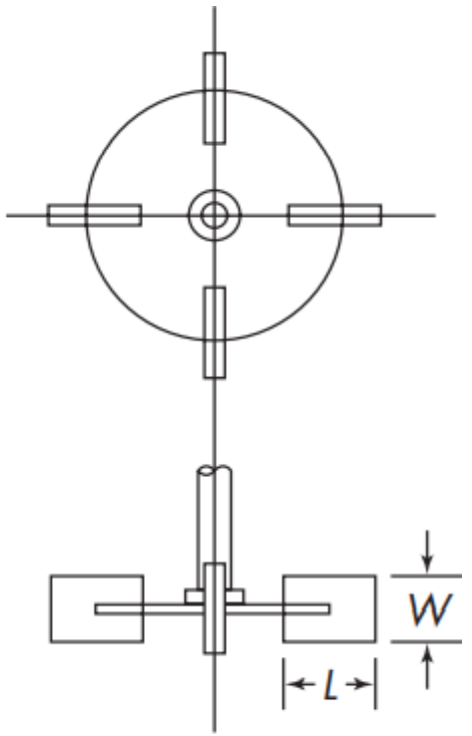
El tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y las proporciones de los deflectores y otros factores. Cada una de estas decisiones afecta la velocidad de circulación del líquido, los patrones de velocidad y el consumo de potencia.

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \qquad \frac{H}{D_t} = 1 \qquad \frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \qquad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \qquad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Por lo general, el número de deflectores es 4; el número de palas del agitador varía entre 4 y 16, pero generalmente son 6 u 8.





Impulsores de alta eficiencia

Estos impulsores o agitadores son ampliamente usados para mezclar líquidos de baja o moderada viscosidad, pero no se recomiendan para líquidos muy viscosos o para dispersar gases.

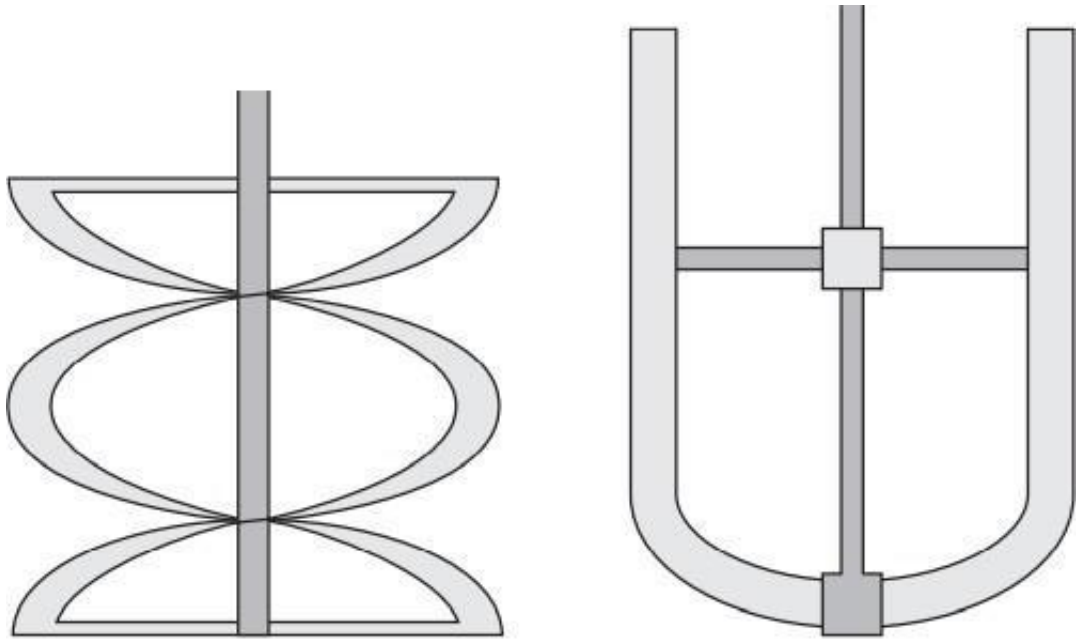
Impulsor fluidfoil A310 (***Lightnin–*** *una operación en equipo de proceso SPX*). (*De Perry y Gree*n.[40]).

Agitadores para líquidos altamente viscosos

Para viscosidades superiores a 20 Pa·s.

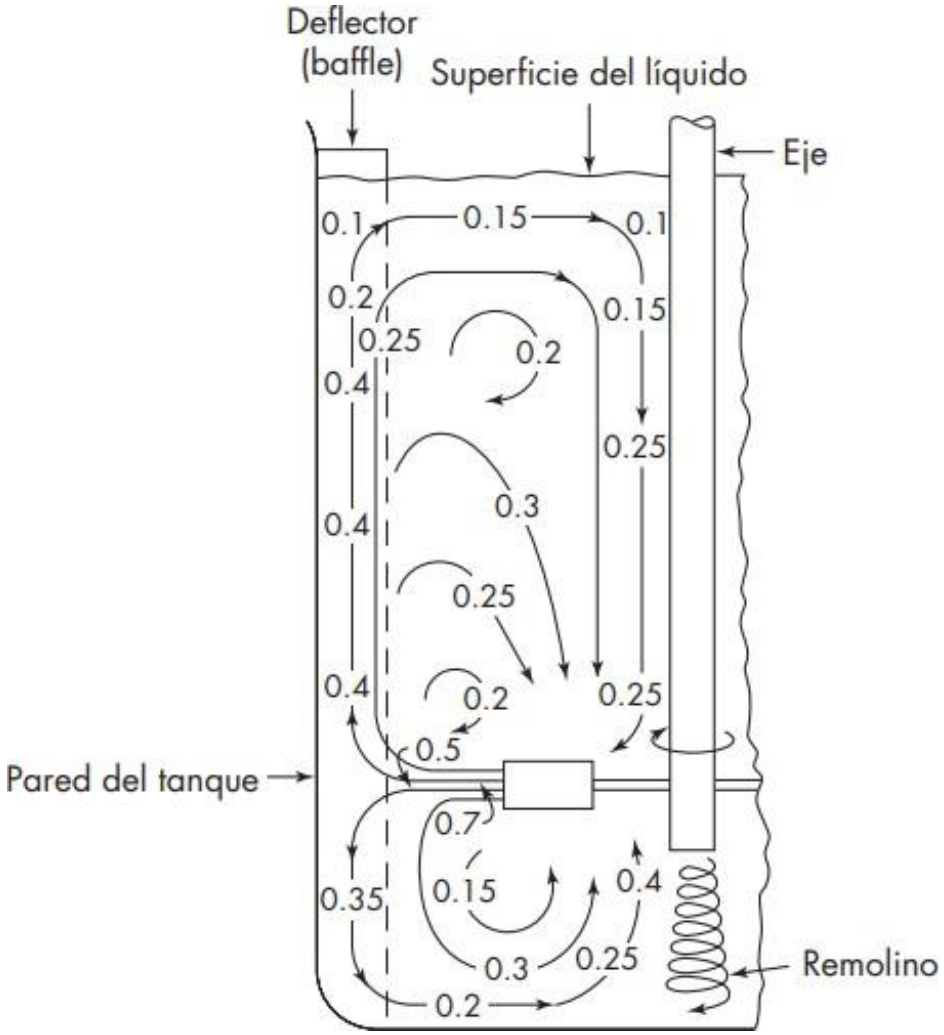
Las cintas helicoidales se han utilizado con éxito con viscosidades de hasta 25 000 Pa·s.

El agitador de ancla no crea movimiento vertical, por lo que es un mezclador menos efectivo que el de cinta helicoidal, pero promueve buena transferencia de calor hacia o desde la pared del tanque. Para este propósito, las anclas y las cintas helicoidales se equipan con raspadores que remuevan físicamente el líquido desde la pared del tanque.



Agitadores para líquidos de alta velocidad: *a*) agitador de cinta de doble trayectoria helicoidal; *b*) agitador de ancla.

Patrones de velocidad de un agitador de turbina.



Cálculo del consumo de potencia (energía)

$$P = K_L n^2 D_a^3 \mu$$

Flujo Laminar

$$P = K_T n^3 D_a^5 \rho$$

Flujo turbulento

Valores de las constantes KL y KT en las ecuaciones (9.19) y (9.21) para tanques que tienen cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya anchura es igual a 10% del diámetro del tanque

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0[43]	41	0.32
Paso 1.5[37]	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas[37] ($S_3 = 0.25$, $S_4 = 0.2$)	65	5.75
Seis palas inclinadas[42] (45°, $S_4 = 0.2$)	—	1.63
Cuatro palas inclinadas[37] (45°, $S_4 = 0.2$)	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas[43] ($S_4 = 0.2$)	36.5	1.70
Impulsor HE–3	43	0.28
Cinta helicoidal	52	—
Ancla[37]	300	0.35

EJEMPLO

Una turbina de disco con seis palas planas se instala centralmente en un tanque vertical con deflectores con un diámetro de 2 m. La turbina tiene 0.67 m de diámetro y está situada a 0.67 m por encima del fondo del tanque. Las palas de la turbina tienen 134 mm de ancho. El tanque está lleno hasta una altura de 2 m de solución acuosa de NaOH al 50% a 65 °C, que tiene una viscosidad de 12 cP y una densidad de 1 500 kg/m3. La turbina del agitador gira a 90 rpm. ¿Qué potencia requerirá?

Solución Primero hay que calcular el número de Reynolds. Los valores requeridos son

$$D_a = 0.67 \text{ m} \qquad n = \frac{90}{60} = 1.5 \text{r/s}$$

$$\mu = 0.012 \text{ Pa} \cdot \text{s} \qquad \rho = 1\,500 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto,

$$\text{Re} = \frac{D_a^2 n \rho}{\mu} = \frac{0.67^2 \times 1.5 \times 1\,500}{0.012} = 84\,169$$

Ya que $\text{Re} > 10^4$, $N_p = K_T$. De la tabla 9.2, $K_T = N_p = 5.8$, y de la ecuación (9.24)

$$P = 5.8 \times 1.5^3 \times 0.67^5 \times 1\,500 = 3\,964 \text{ W, o } 3.96 \text{ kW}$$

MEZCLA Y MEZCLADO

Los resultados de los estudios de mezclado son difíciles de reproducir y dependen en gran medida de cómo se defina el mezclado por el experimentador. Con frecuencia el criterio de un buen mezclado es visual, como ocurre en la utilización de fenómenos de interferencia para seguir la mezcla de gases en un conducto o en el cambio de color de un indicador ácido-base, para la determinación el tiempo de mezcla de líquidos. Otros criterios utilizados incluyen la velocidad de caída de las fluctuaciones de concentración o temperatura, la variación de composición de pequeñas muestras tomadas al azar en distintos puntos de la mezcla, la velocidad de transferencia de un soluto de fase líquida a otra, y en mezclas sólido-líquido, la uniformidad que se observa visualmente en la suspensión.

Calculo de la potencia requerida para el mezclado

De los datos requeridos:

D = diámetro del agitador (m)

N = velocidad de agitación (rps)

g =aceleración de la gravedad (m/s^2)

δ_m = densidad mezcla (kg/m^3)

μ_m = viscosidad mezcla (kg/ms)

P = potencia transmitida por el agitador (kW) (1000 kg m^2/s^3)

Se conocen o determinan

Deben calcularse

δ_m es la suma de las densidades de los componentes de la mezcla (o de las fases)

$$\delta_m = V_1\delta_1 + V_2\delta_2$$

V = volumen relativo (fracción) de cada fase o componente

La viscosidad de la mezcla (μm) se calcula:

Mezcladoras sin placas deflectoras →

$$\mu_m = \mu_1^{V_1} + \mu_2^{V_2}$$

Mezcladoras con placas deflectoras →

$$\mu_m = \frac{\mu_1}{V_1}\left(\frac{1+1.5\mu_2 V_2}{\mu_1+\mu_2}\right)$$

El flujo de un fluido dentro de una mezcladora se puede definir por una serie de números adimensionales:

-Número de Reynolds (Re)

$$\mathrm{Re} = \frac{D^2 N \delta_m}{\mu_m}$$

-Número de Froude (Fr)

$$Fr = \frac{DN^2}{g}$$

-Número de Potencia (Po)

$$Po = \frac{P}{\delta_m N^3 D^5}$$

D = diámetro del agitador (m)

N = velocidad de agitación (rps)

δ_m = densidad mezcla (kg/m^3)

μ_m = viscosidad mezcla (kg/ms)

P = potencia transmitida por el agitador (kW) (1000 kg m^2/s^3)

g =aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2

La relación entre estos 3 números (Reynolds (Re), Froude (Fr) y Potencia (Po), se expresa de la siguiente manera:

$$Po = k(\mathrm{Re})^n (Fr)^m$$

Ecuación 5

Donde *k*, *m* y *n* son factores relacionados con la geometría del agitador (determinados experimentalmente)

El número de Froude solo resulta importante cuando se forman remolinos (en recipientes sin deflectores)

Tiempo requerido de mezclado

TIEMPO DE MEZCLADO

D = diámetro del agitador (m)

N = velocidad de agitación (rps)

D_t = diámetro del recipiente (m)

z = altura del líquido (m)

En el caso de líquidos, la velocidad de mezclado y por ende el tiempo de mezclado, son función de una constante (K) que depende del tipo de mezcladora y la naturaleza de los componentes a mezclar

$$t_m \propto \ln\left[\frac{\sigma_m}{K}\right]$$

Los parámetros que tienen influencia en el valor de la constante *K son:*

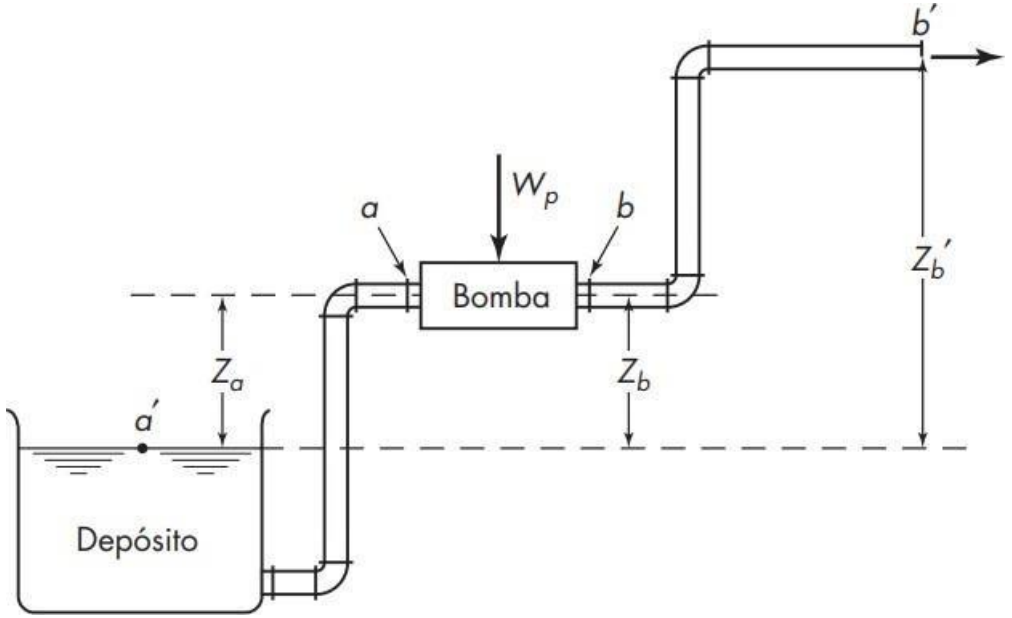
$$K \propto \frac{D^3 N}{D_t^2 z}$$

DESCRIPCION DE EQUIPOS

- Energizar un líquido es elevar su presión para que se desplace de un punto a otro en una instalación
- Tipos de Energización
  - Natural: Cuando entre el punto de partida tiene una altura positiva respecto del punto de llegada
  - Bombeo Mecánico: son dispositivos mecánicos que utilizando la propiedad de incompresibilidad del líquido elevan la presión del mismo

BOMBAS

La bomba se instala en una tubería de conducción y suministra la energía necesaria para succionar líquido de un tanque de almacenamiento, y descargarlo con una velocidad volumétrica de flujo constante a la salida de la tubería, situada a Zb m arriba del nivel del líquido en el tanque. El líquido entra a la bomba por una conexión de succión situada en el punto a y sale por el punto b donde se encuentra la conexión de descarga.



Altura o Carga total de Operación

Viene impuesta por la diferencia algebraica entre la altura de la descarga y la altura de la succión.

$$H_{Bomba} = H_{Descarga} - H_{Succión}$$

$$H_{Descarga} = H_{Manom.} + H_{Hstca} + H_{Val.Regul.} + H_{Pérdida}$$

$$H_{Succión} = H_{Manom.} + H_{Hstca} - H_{Pérdida}$$

La carga de velocidad generalmente suele despreciarse.

Se recomienda por cualquier eventualidad, que la altura de operación a especificar deberá aplicársele un factor de seguridad a la altura calculada.

$$H_{BombaFinal} = (10 - 25)\% \times H_{Bomba}$$

Altura Neta de Presión Necesaria en la Aspiración (NPSH) y Potencia de la Bomba

Para que una bomba centrífuga no cavite en todo momento se deberá cumplir que:

$$ANPA_{Disponible} \geq ANPA_{Bomba} \qquad Dónde:$$

$$NPSH_d = \left(\frac{p_o}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} - H_a \right) - r_a \cdot Q^2$$

$$NPSH_r = \frac{V_E^2}{2g} + \frac{p_E - p_s}{\gamma} = \frac{w_1^2}{2g} + H_{rEM}$$

H_a es su altura hidroestática con relación a la estrada de la bomba.

Definido el caudal y la altura, estaríamos ya en condiciones de calcular la potencia de la bomba.

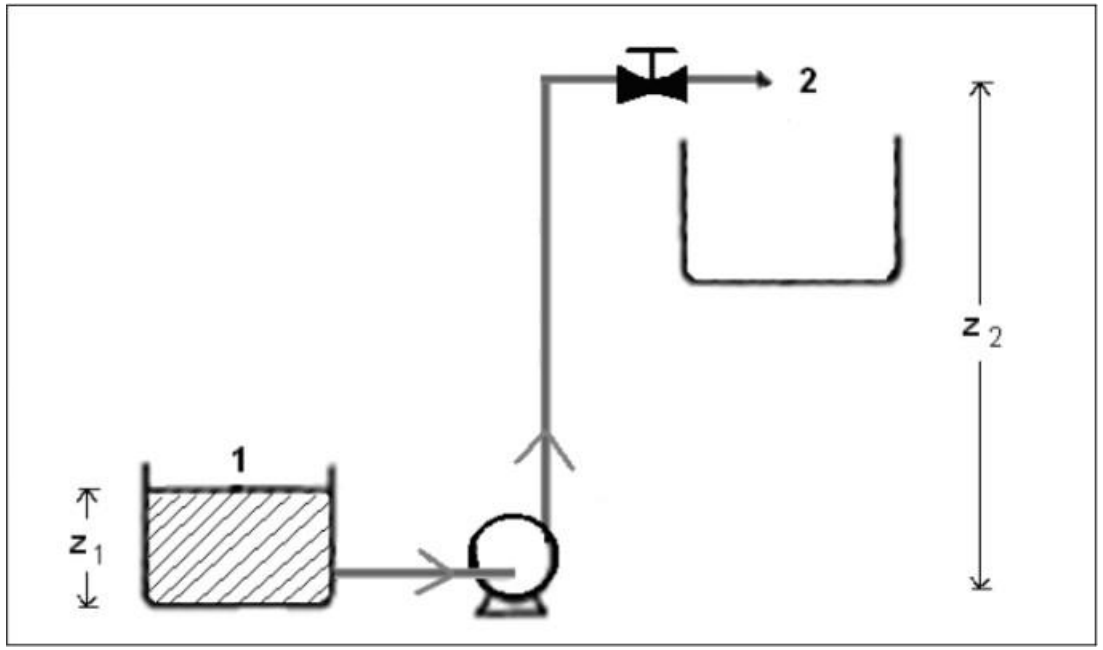
$$N_{Bomba} = \frac{\gamma_{(t\,ºC)} \times \dot{Q} \times H_{Bomba\,Final}}{\eta_B \times 75}\ [HP]$$

La selección final de la potencia, siempre será la inmediata superior a la calculada.

Ejemplo:

Se bombea un zumo de manzana de 20º Bx (20% en peso de azúcar) a 27 ºC desde un tanque abierto a través de una tubería de acero 1 pulg de diámetro nominal a un segundo tanque situado a nivel superior, tal como se muestra en la figura. El caudal másico es de 1 kg/s y circula a través de una tubería recta de 30 m con 2 codos estándar de 90 º y una válvula en ángulo. El tanque suministrador mantiene el nivel del líquido de 3 m y el zumo de manzana abandona el

sistema a una altura de 12 m sobre el nivel del suelo. Calcular la potencia de la bomba. Eficiencia es 60 %.



Datos:

μzumo=2,1 x10-3 Pa.s

ρzumo= 997,1 kg/m3

Diámetro de la tubería= 26,7 mm

Flujo másico= 1 kg/s

Longitud de la tubería = 30 m

Long. eq. codo estándar 90º = 0,9 m

Long. eq. válvula en ángulo = 4,5 m

Nivel del líquido en tanque = 3 m

Nivel del líquido a la salida = 12 m

Solución:

Calculamos la velocidad:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho . A} = \frac{1\ kg/s}{(997{,}1\ \text{kg/m}^3)(\pi (0{,}0267\ m)^2/4)} = 1{,}79\ \text{m/s}$$

Calculamos Re:

$$N_{Re} = \frac{(997{,}1\ \text{kg/s})(0{,}0267\ \text{m})(1{,}79\ \text{m/s})}{2{,}1\times 10^{-3}\ Pa.s} = 2{,}27\times 10^4$$ Es flujo turbulento.

Calculamos las pérdidas por fricción:

- Determinamos ∈/D en la figura con el material de la tubería = 0,0018
- Se determina f en la figura = 0,029
- Se determina la longitud equivalente en la figura.

$$F = f\left(\frac{L+\sum L_{eq}}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2gc}\right) = 0{,}029\left(\frac{30\ m + 6{,}3\ m}{0{,}0267\ m}\right)\left(\frac{(1{,}79\ m/s)^2}{2\left(\frac{kg.m}{N.s^2}\right)}\right) = 63{,}16\ J/kg$$

L eq = 2(0,9) + 4,5 =6,3 m

- Se calcula hf haciendo uso de la ecuación.

- Aplicamos la ec. de Bernoulli

$$\frac{v_B^2 - v_A^2}{2\alpha gc} + \frac{g}{gc}(z_B - z_A) + V(P_2 - P_1) + \sum F + W_s = 0$$

$$v_A = 0, \quad \alpha = 1, \; P_2 = P_1$$

$$\frac{(1{,}79\ \text{m/s})^2}{2\left(\frac{\text{kg.m}}{\text{N.s}^2}\right)} + \frac{9{,}81\ \text{m/s}^2}{\left(\frac{\text{kg.m}}{N.s^2}\right)}(12 - 3)m + 63{,}16\ \text{J/kg} + W_s = 0$$

Ws = 153,05 J/kg

- Calculamos la potencia:

Pot = (153,05 J/kg) (1 kg/s) = 153,05 J/s = 153, 05 W

- Calculamos potencia nominal de la bomba:

Pot. Nominal=153,05 W/0,6 =255 W

BIBLIOGRAFIA

- Operaciones unitarias en Ingeniería Química – Warren L. McCabe – 7° Edición.
- Apuntes de Procesos de Producción año 2019 – Ing. Roberto Burtnik