

1.- Tecnología de los fluidos:

El término “fluido” proviene del Latín flúo, y está asociado al verbo fluctuar como la cualidad de deformarse permanentemente al someterse a un esfuerzo cortante. Comúnmente se relaciona fluir con un cambio permanente en respuesta a acciones externas.

La viscosidad es un concepto característico de los fluidos que expresa la cohesión entre sus partes internas y se manifiesta como una reacción al fluir.

Los fluidos pueden clasificarse según su viscosidad en Newtonianos y no Newtonianos.

Se denomina fluido ideal a aquel que su viscosidad es nula, y que por lo tanto no ofrece resistencia al deformarse.

Se denomina fluidez a la inversa de la viscosidad.

Pueden distinguirse distintos tipos de viscosidades:

Viscosidad Cinemática $\nu = \mu / \rho$

Viscosidad Relativa $\mu_r = \mu / \mu_0$

Viscosidad Específica $\mu_{esp} = \mu_r - 1$

Viscosidad Inherente $\mu_{inh} = L\mu_r / C$

Viscosidad Intrínseca $[\mu] = \lim_{C \rightarrow 0} \mu_{inh} / C$

1.1.- Fluidostática

En reposo se estudian los fluidos en relación a la presión que se aplica en ellos y las sustancias que así se consideran se definen en base de su capacidad de fluir, esto es deformarse indefinidamente, como se definió anteriormente.

Los fluidos mejor estudiados son probablemente el aire y el agua y estos por lo general están relacionados con ramas diferenciadas de la ciencia y la tecnología; característicamente den lugar a la aerostática y la hidrostática, ambas comprendidas en la fluidostática como casos particulares de la misma.

La aerostática es una parte de la mecánica que estudia los gases y el comportamiento de los sólidos que se encuentran en ellos, tiene especiales aplicaciones en el uso de aislaciones térmicas basadas en el aire como mal conductor del calor.

La hidrostática es una parte importante de la hidráulica que también estudia el comportamiento de los fluidos en movimiento (fluido dinámica).

Los problemas que presentan los fluidos en reposo son prácticamente dos: el equilibrio y la distribución de la presión.

1.1.1.- Equilibrio fluidostático:

La interacción gravitatoria entre la materia y las grandes masas astronómicas impone para todas las aplicaciones tecnológicas, excepto las utilizadas en astronáutica, la consideración de la afectación del campo terrestre otorgando una fuerza a los cuerpos, conocida como peso; densidad en relación con su volumen o aceleración gravitatoria en relación con su masa.

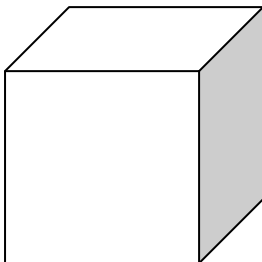


$$(\text{peso}) p = m \cdot g$$

$$(\text{densidad}) \delta = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

$$(\text{peso específico}) \rho = \delta \cdot g$$

En el interior de un fluido en reposo todas las fuerzas deben encontrarse en equilibrio; actuando la gravedad siempre en dirección al centro de la tierra (nuestra gran masa astronómica) la materia de un cuerpo adicionará peso sólo en esa dirección. Considerando un contenedor de forma cúbica:



$$(\text{peso}) p = \rho g h A$$

$$\text{y ... (presión)} P = \frac{p}{A} = \rho g h$$

considerando un volumen infinitesimal:

$$dP = \rho g dh$$

$dP = \rho g dh$ es la ecuación de equilibrio hidrostático para fluidos incompresibles, y significa la distribución de la presión en relación con la altura del fluido.

Recordar que:

(Presión) P se mide en Pa (Pascal) $[Pa] = \left[\frac{Nt}{m^2} \right]$

$$101.325 [Pa] = 1 [Atm] = 1 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right] = 1 \text{ bar} = 760 [mm \text{ Hg}] = 14,7 [psi]$$

$$psi = \left[\frac{\text{libra}}{\text{pulgada}^2} \right]$$

El peso es una fuerza y se mide en $[Nt] = \left[Kg \frac{m}{s^2} \right]$

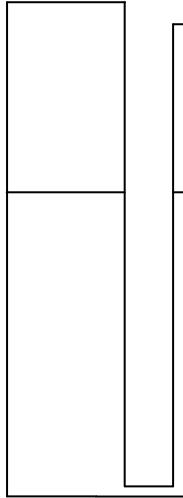
$$1 [Nt] = 3,3 [onzas] = 0,3 [libras] = 0,1 [Kgf] \text{ (Kgf es kilogramo fuerza)}$$

La masa pondera la cantidad de materia y se mide en $[Kg]$

$$1 [Ton] = 1.000 [Kg] = 2.680 [lbs] = 8,7 [wey] = 61,24 [truss]$$

material	(δ) densidad $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$
Aceite de oliva	970
Agua	1.000
Cerveza	1.014
Etanol	790
Leche	1.025
Miel	1.300
Vinagre	1.050

Si se considera un modelo de vasos comunicantes como el de la figura:



El peso del líquido contenido en la columna de la izquierda es:

$\rho g h_{izq} A_{izq}$ y la presión en la base: $\rho g h_{izq}$

el peso correspondiente para la columna derecha:

$\rho g h_{der} A_{der}$ y la presión en la base: $\rho g h_{der}$

en equilibrio: $\rho g h_{izq} = \rho g h_{der} \Rightarrow h_{izq} = h_{der} = h$

(artilugio utilizado en los indicadores de nivel de tanques).

Columnas de vasos comunicantes

El volumen del contenido del tanque puede variar de forma no lineal con la altura según el diseño del mismo.

$$V = \int_0^h A dh \quad \text{para un cuerpo de revolución } V = \pi \int_0^r r^2 dh$$

La relación entre A y h queda establecida por la función que describe el contorno del contenedor; para el caso de un cilindro $A = \pi r^2$ pero existen casos en que r no es constante en para todos los puntos de h como en el caso de un tanque esférico para el cual.

$$V = \int_0^h A dh = \int_0^h \pi h^2 dh = \frac{4}{3} \pi h^3$$

1.2.- Fluidodinámica

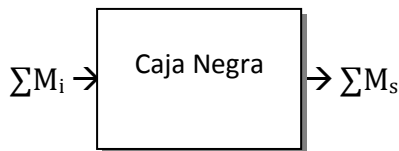
El estudio de transporte los fluidos en movimiento puede analizarse como transporte de materia y de movimiento.

Transporte de materia: (balance de masa)

Para un sistema definido $\sum M_i = \sum M_s + A$; ó... $\Delta m = 0$

(la cantidad de materia que entra al sistema es igual a la que sale más la que se acumula en el mismo ó... la materia no se crea ni se destruye)

En condiciones industriales (operación continua) la acumulación es despreciable, entonces:



para un determinado componente se puede particularizar:



Sistemas de ecuaciones conocidos como balance general del sistema y balance particular por componente.

Considerando caudales: $\dot{Q} = \frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A v$

Las cañerías expresan sistemas cerrados donde resulta práctica la aplicación de la ley de Bernuolli⁸, pero también deben tomarse en consideración algunos principios fundamentales:

Ley de Pascal⁹:

"La presión en un líquido confinado actúa igualmente en todas direcciones, y perpendicularmente a la superficie del recipiente que lo contiene".

Ley de Boyle¹⁰:

"La presión absoluta de un gas a temperatura constante varía en forma inversa a su volumen."

Ley de Charles¹¹:

"A presión constante el volumen específico de un gas es directamente proporcional a su temperatura."

⁸ Daniel Bernoulli, sabio suizo; 1700 - 1782

⁹ Blas Pascal, sabio francés; 1623 - 1662

¹⁰ Robert Boyle, físico inglés; 1627 - 1691

¹¹ Jacques Charles: físico francés; 1746 - 1823

1.2.1.- Transporte de cantidad de movimiento.

Cabe reflexionar que las OU se aplican en un enfoque macroscópico sobre sistemas que se encuentran en estados cercanos al equilibrio.

Se considera que la cantidad de movimiento queda definida por la expresión $p=mv$ (el producto de la masa por su velocidad) y se aplica en sistemas inerciales considerando el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

“La cantidad de movimiento de un sistema inercial permanece constante si no actúan fuerzas externas sobre él”.

Los sistemas inerciales agrupan elementos que pueden considerarse en su conjunto como un único objeto con respecto a otro sistema o a un centro de masa, por ejemplo nuestro planeta tierra es un sistema inercial.

Por ejemplo los ocupantes de un automóvil que se desplaza a gran velocidad pueden considerar que se encuentran inmóviles en su asiento, sin embargo se mueven con el vehículo (sistema inercial); aunque los cuerpos en el interior del automóvil interactuaran entre si es fácil comprender que tales acciones no tendrán mayor influencia sobre el sistema inercial

(automóvil). Así también ocurre entre los elementos que se transportan en un tramo de cañería.

Los conceptos de sistema inercial y cantidad de movimiento facilitan el tratamiento de fluidos compuestos, sólidos a granel, lechos fluidizados y muchos otros sistemas complejos.

Los sistemas inerciales se definen según la conveniencia del análisis que se pretende realizar ya que son arbitrarios, como todos los sistemas, pero debe considerarse que sus elementos presenten una cantidad de inercia común en relación a un centro de masa.

El principio de validez de la cantidad de movimiento para un conjunto de elementos puede usarse también para definir el sistema inercial.



El agua que sale del termo parece ignorar la velocidad del coche

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

1.2.2.-Transporte de energía: (balance de energía)

Para un sistema cerrado $\sum E_i = \sum E_o + A$; ó... $\Delta E = 0$

(la cantidad de energía que entra al sistema es igual a la que sale más la que se acumula en el mismo ó... la energía no se crea ni se destruye)

Las OU no estudian las transformaciones químicas (procesos) por lo tanto no consideran las energías de reacción y los términos físicos relacionados se describen en la ecuación de Bernoulli:

$$E_h + E_v + E_p = W + E_f$$

Donde: E_h (energía potencial) = mgh ($Kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = Nt \cdot m = \text{Joule}$)

E_v (energía cinética) = $\frac{1}{2} m v^2$ ($Kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = Nt \cdot m = [J]$)

E_p (energía de presión) = $mg \frac{P}{\rho}$ ($Kg \frac{m}{s^2} \frac{Pa}{\frac{Nt}{m^3}} = Nt \frac{\frac{m^2}{s^2}}{\frac{Nt}{m^3}} = [J]$)

W (trabajo mecánico entregado por la bomba) ($[w \cdot s] = [J]$)

E_f (energía perdida por fricción) = $f \frac{L}{D} E_v$

(L es la longitud y D el diámetro de la cañería; f es el factor de fricción;
en flujo laminar $f = \frac{16}{Re}$; en turbulento $f = 0,08 Re^{-0,25}$)

Resulta conveniente para los cálculos en operaciones considerar en función a la ley de conservación de la materia que no existen variaciones de masa y ésta se comporta como una constante, lo que permite relacionar los términos de la ecuación de Bernoulli considerados por unidad de masa (para procesamiento continuos).

Así:
$$\frac{Eh}{m} + \frac{Ev}{m} + \frac{Ep}{m} = \frac{W}{m} + \frac{Ef}{m}$$

Donde: Eh (por unidad de masa) $= gh \left(\frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{m^2}{s^2} = \frac{Joule}{Kg} \right)$

Ev (por unidad de masa) $= \frac{1}{2} v^2 \left(\frac{m^2}{s^2} = \left[\frac{J}{Kg} \right] \right)$

Ep (por unidad de masa) $= g \frac{P}{\rho} \left(\frac{m}{s^2} \frac{\frac{Nt}{m^2}}{\frac{Nt}{m^3}} = \frac{m^2}{s^2} = \left[\frac{J}{Kg} \right] \right)$

W (por unidad de masa) $\left(\left[\frac{W \cdot s}{Kg} \right] = \frac{m^2}{s^2} = \left[\frac{J}{Kg} \right] \right)$

E_f (por unidad de masa) $= \frac{m^2}{s^2} = \left[\frac{J}{Kg} \right]$

y ...
$$gh + \frac{v^2}{2} + g \frac{P}{\rho} = \frac{W}{m} + \frac{Ef}{m}$$

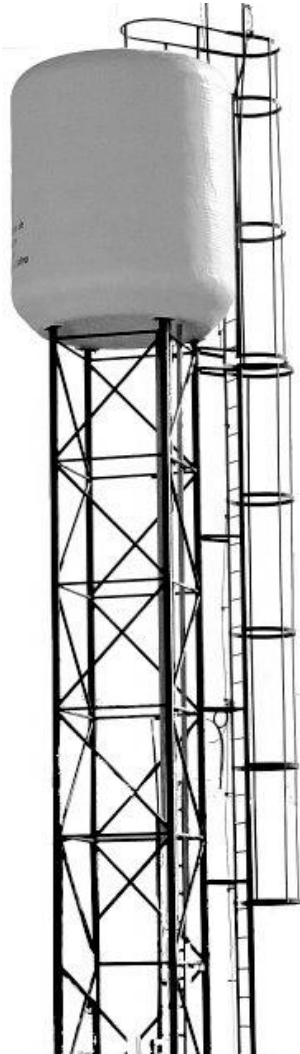
Con el mismo razonamiento considerando “g” constante:

$$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho} = \frac{W}{gm} + \frac{Ef}{gm}$$

y para fluidostática:

$$h + \frac{P}{\rho} = 0$$

1.2.3.- Cálculo de tanque de agua:



Considerando una reserva de 10.000 lts de capacidad $V = 10 \text{ m}^3$

Diseño cúbico $\rightarrow$ lado x lado x altura (a) = V
ejemplo: 2 [m]. 2 [m]. 2,5 [m] = 10 m^3

Diseño cilíndrico $\rightarrow \pi r^2 a = V$;
Ej: diámetro (D) = 2 [m] a = 3 [m]

peso del agua: 10 Tn;

peso del tanque (Ej) 0,4 Tn (fibra)

peso estructura (Ej) 1,2 Tn (metálica)

Presión de agua a nivel del suelo: suponiendo altura (h) = 10 m $P = \rho h \cdot 9.800 \left[\frac{\text{Nt}}{\text{m}^3} \right]$.
 $10 [\text{m}] = 98.000 [\text{Pa}]$

Recordar que:

10,3 [m] de agua = 101.325 [Pa] = 1 [Atm]

Energía necesaria para llenar el tanque:

$E_h = mgh = 1.000 [\text{KJ}]$

Potencia necesaria de bombeo para llenarlo

en 10 minutos: $\text{Pot} = \frac{E_h}{t} = \frac{1.000 [\text{KJ}]}{600 [\text{s}]} =$

$= 1,67 [\text{Kw}];$ cómo 3600 [KJ] = 1 [Kw.h]

entonces 1.000 [KJ] son 0,28 [Kw.h]

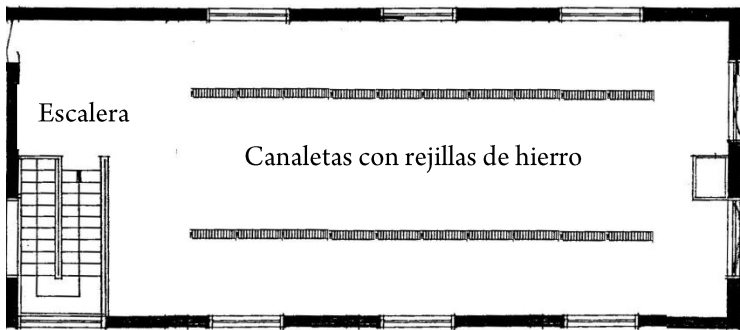
(de consumo de energía cada vez que se llena en tanque).

1.2.4.- Cálculo de cañerías y canaletas:

Los fluidos se conducen en las industrias mediante cañerías estandarizadas que se obtienen comercialmente.

El uso de estas instalaciones se encuentra bien diferenciado como efluentes, sanitarios, agua corriente, gas, vacío, vapor, y transporte de líquidos para el procesamiento.

Los efluentes se manejan internamente a través de canaletas abiertas protegidas por rejillas de hierro, que también se utilizan en zonas sucias abiertas. No son recomendables para la intemperie puesto que contaminan.



Plano de descargas a colectoras internas de efluentes.



Detalle rejilla protectora.

Las canaletas (sistemas abiertos) se estudian mediante parámetros específicos de la hidráulica:

Área húmeda (A_H): Es la superficie transversal de la canaleta.

Perímetro húmedo (p_H): es el perímetro del área húmeda.

Profundidad hidráulica (z_H): es la relación entre el área hidráulica y el ancho superior de la canaleta.

Radio hidráulico (r_H): es la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado.

Calado (z): es la distancia vertical desde el nivel de máxima carga hasta el fondo de la canaleta.

El número adimensional de Froude (Fr) relaciona las fuerzas de inercia con las gravitacionales en un fluido:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gz_H}}$$

si $Fr = 1 \rightarrow$ flujo crítico; ($Fr > 1$ súper crítico; $Fr < 1$ sub crítico)

La capacidad de la canaleta depende de su ancho (a), profundidad (z) y pendiente (Δh); y de la viscosidad (μ) y cantidad de residuos sólidos que aporte el efluente a transportar (ρ).

La pendiente se expresa en $[\frac{m}{m}]$, (pendiente sobre longitud).

Ej: pendiente de 3% equivale a $0,03 [\frac{m}{m}] = 0,03$

La velocidad media se calcula como: $v = C \cdot \sqrt{r_H \Delta h}$

Donde C es el coeficiente de Chézy (C) el cual se puede obtener de varias maneras, una es la ecuación de Manning:

$$C = \frac{1,5 (r_H)^{\frac{1}{6}}}{n}$$

Donde n es el coeficiente de rugosidad que para una superficie de cemento alisado se puede considerar 0,014

Ej: en una canaleta rectangular de 20 [cm] de ancho y 10 [cm] de profundidad con una pendiente del 3% (0,03); un efluente no viscoso con 25% de sólidos tendría una velocidad media de:

$$r_H = \frac{a \cdot z}{a + 2z} = \frac{0,2 \cdot 0,1}{0,2 + 2(0,1)} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$C = \frac{1,5 (r_H)^{\frac{1}{6}}}{n} = \frac{1,5 (0,05)^{\frac{1}{6}}}{0,014} = 65,03$$

$$v = C \cdot \sqrt{r_H \Delta h} = 65,03 \cdot \sqrt{0,05 \cdot 0,03} = 2,53 \left[\frac{m}{s} \right]$$

por lo tanto podría conducir un caudal máximo de:

$$Q = \delta A v = 1250 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \cdot 0,2 \text{ [m]} \cdot 0,1 \text{ [m]} \cdot 2,52 \left[\frac{m}{s} \right] = 63 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\text{ó ... } 50,4 \left[\frac{lt}{s} \right] = 181,4 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 226,8 \left[\frac{Tn}{h} \right]$$

Si se tratara de un caño de 10 [m] de longitud, con la misma pendiente (sin considerar pérdidas por fricción):

$$v = \sqrt{g \Delta h} = 1,71 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Las pérdidas de fricción de una cañería se pueden expresar como pérdidas de presión o de altura, para el ejemplo:

Considerando $D = 4$ pulgadas (para un área aprox. equivalente)

$$Re = \frac{D v \delta}{\mu} = \frac{0,10[m] \cdot 1,71 \left[\frac{m}{s}\right] \cdot 1250 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]}{0,01 [poise]} = 21.375$$

Se trata de un flujo turbulento $\rightarrow f = 0,08 Re^{-0,25} = 0,0066$

$$\frac{Ev}{m} = \frac{v^2}{2} = 40,5 \left[\frac{J}{Kg}\right] \rightarrow \frac{Ef}{m} = f \frac{l}{D} \frac{Ev}{m} = 26,7 \left[\frac{J}{Kg}\right]$$

Que implica una pérdida de energía del 66% y reduciría la altura por pendiente del problema anterior a 0,2 [m], en vez de los 0,3 [m] supuestos. Entonces considerando fricción para un caño de 10 [m] de longitud:

$$v = \sqrt{g \Delta h} = 1,96 \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$\varnothing = \delta A v = 1250 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \cdot 0,03 [m^2] \cdot 1,96 \left[\frac{m}{s}\right] = 73 \left[\frac{Kg}{s}\right]$$

En el ejemplo el caño cerrado de 4" conduce un 15% más que la canaleta abierta rectangular de 20 cm de ancho y 10 cm de profundidad. En la práctica las canaletas tienen unos 25 cm de profundidad como mínimo y los caños de desagüe siempre más de 6".



Caños para desagües, plásticos y de cemento.

Los conductos utilizados para agua por razones económicas son casi exclusivamente de plástico, los cuales pueden ser de uniones roscadas, ensambladas, bridadas, o por termo fusión.

Son livianos, fáciles de colocar y de mantener; sus superficies son lisas, lo que minimiza las pérdidas por fricción y se complementan con una gran variedad de accesorios.

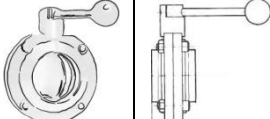
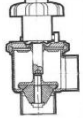
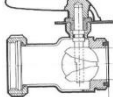
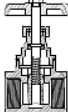
1.2.5.- Accesorios:

Accesorio		fD		Accesorio		fD
	Codo 90°	0,018			Derivación macho 45°	0,017
	Codo 90° con derivación*	0,017			Derivación tres ramas	0,015
	Codo 45° hembra	0,016			Curva 90°	0,011
	Derivación* "T" 90°	0,019			Flexible 90°	0,003
	Sellador final de línea	--			Flexible 45°	0,002
	Reducción 1/4	0,018			Codo 45° macho	0,016
	Derivación hembra 45°	0,017			Tapón final macho	--
	Nipple macho -macho	0,003			Nipple hembra -hembra	0,003
	Hembra unión extensible	0,002			Nipple hembra -macho	0,003
	Tapón final hembra	--			Macho unión extensible	0,002

* para colocación de instrumento.

1.2.6.- Válvulas

Son elementos de control del paso de un fluido, se pueden controlar a distancia mediante actuadores.

Tipo	Descripción
	Mariposa: Se usan para regular flujos a bajas presiones y abiertas prácticamente no presentan pérdidas de carga.
	Asiento: Son robustas y aptas para controlar flujos hasta altas presiones. Requieren mantenimiento.
	Globo: Controlan flujos intermedios entre apertura total y cerrado. No son recomendables con partículas en suspensión.
	Compuerta: Son robustas, y se usan para abrir o cerrar flujos; no son recomendables para regular caudales.

Algunas de las válvulas más usadas.

Se construyen en plástico, hierro, bronce y acero inoxidable en un amplio rango de diámetros. Están construidas con piezas móviles por lo que necesariamente requieren mantenimiento; situación que debe preverse dotando a las instalaciones de by pass y juegos dobles e instalándolas de manera accesible y desmontable. Las pérdidas de carga producidas por válvulas abiertas son despreciables y se pueden considerar para agua en el orden de: $f \cdot D = 0,002$

1.3.- Cañería de gas a baja presión

Aunque el gas natural se conduce largas distancias en cañerías de alta presión (40-50 bar) llamadas gasoductos, se rebaja y distribuye a presiones menores:

Alta presión: supera los 1,96 [bar] ($2[\text{kg}/\text{cm}^2]$).

Media presión: entre 0,454 [bar] ($0,5[\text{kg}/\text{cm}^2]$) y 1,96 [bar] ($2[\text{kg}/\text{cm}^2]$).

Baja presión: todo suministro que se realice a una presión, igual a 19 [mbar] ($0,020[\text{kg}/\text{cm}^2]$).

Las cañerías de gas se construyen con tubos de acero roscado recubiertos con pintura epóxido o plástico para termo fusión.



Caños para gas: hierro epóxido y acero plástico.

El consumo de una instalación determinada se calcula como la sumatoria de los consumos individuales (ver placas) de todos los equipos conectados.

$$Q = \sum_1^n q_i$$

El calor que consume un equipo se calcula en función de su rendimiento:

$$\emptyset = \frac{q}{\eta P_c}$$

Donde:

$\emptyset$ es el caudal del flujo de gas

q es el requerimiento calórico del proceso

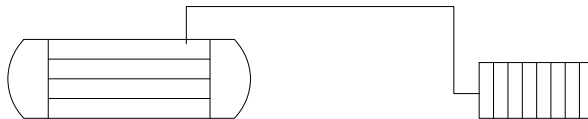
η el rendimiento del equipo

P_c el poder calorífico superior del gas

Las características básicas de los gases más utilizados se encuentran en la siguiente tabla, en la que se puede comparar su costo con el correspondiente en electricidad:

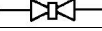
Gas	P_c [KJ/Kg]	δ [Kg/m ³]	[U\$S/kg]	[U\$S/KJ]
licuado	48.930	560	0.785	0,273
natural	37.800	620	0,006	0,108
electricidad	0,071 [U\$S/Kwh]			3,486

Ej: una pequeña caldera horizontal de 100 $\left[\frac{lt}{min}\right]$, que debe proveer agua caliente a 94°C para un equipo de pasteurización:



$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dt} &= C_p \Delta T \frac{dm}{dt} = 1 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] 74 [^\circ\text{C}] 100 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right] = 7.400 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{min}} \right] \\ &= 31.080 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right] = 0,635 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right] = 10,40 \left[\frac{\text{U$S}}{\text{h}} \right] \end{aligned}$$

Las pérdidas en accesorios se expresan como equivalencias en longitud de la cañería en función al diámetro.

accesorio	pérdida	Representación	Accesorio
codo 45°	14 . D		Válvula compuerta
codo 90°	30 . D		Válvula globo
curva	20 . D		Válvula cortina
derivación "T"	20 . D		Válvula de retención
reducciones	10 . D		Manómetro
válvula globo	300 . D		Limitador de presión
válvula esclusa	10 . D		Bomba
válvula de asiento	100 . D		Compresor

La pérdida de carga en un tramo de cañería se puede estimar por la fórmula de *Renouard* para pequeñas caídas de presión:

$$\Delta P = 23.200 \cdot dr \cdot L_e \cdot \varnothing^{1,82} \cdot D^{-4,82}$$

Donde:

ΔP es la diferencia de presión entre el inicio y el final de un tramo de instalación en [mbar]

dr es la densidad relativa del gas

L_e es la longitud equivalente del tramo en [m]

$\varnothing$ es el caudal en [m³/h]

D es el diámetro interior de la conducción en [mm]

Para caídas mayores a 100 [mbar] se utiliza la expresión cuadrática de la ecuación de *Renouard*:

$$P_1^2 - P_2^2 = 48,6 \cdot dr \cdot L_e \cdot \varnothing^{1,82} \cdot D^{-4,82}$$

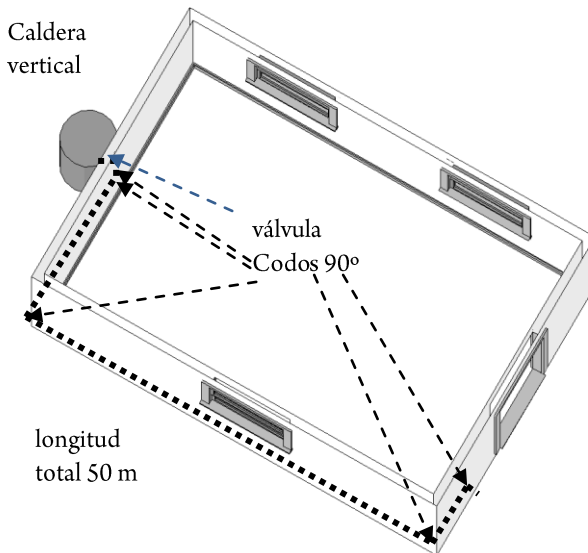
La velocidad del gas dentro de la cañería puede calcularse por la fórmula:

$$V = 354 \cdot Q \cdot P^{-1} \cdot D^{-2}$$

donde:

- V** es la velocidad del gas en [m/s]
- Q** es el caudal en [m³/h]
- P** es la presión al final del tramo en [bar]
- D** es el diámetro interior del caño en [mm].

En el siguiente diseño se calcula el diámetro de la cañería para mantener la pérdida de carga menor a $1[\frac{g}{cm^2}]$ considerando que la caldera consume 1000 [lt] de gas por hora.



Esquema de una instalación de gas natural.

Los caudales máximos admisibles para cada sección son tabulados por los fabricantes de las cañerías. Puede usarse las siguientes fórmulas para obtener los caudales máximos por diámetro para caídas menores a 10 mm de columna de agua.

D en pulgadas	D en mm	Ø en lt/h
1/2	13,24	$5,594 \cdot L^{-0,5}$
3/4	18,20	$12,377 \cdot L^{-0,5}$
1	24,95	$27,244 \cdot L^{-0,5}$
1 y 1/4	33	$54,867 \cdot L^{-0,5}$
1 y 1/2	43	$105,108 \cdot L^{-0,5}$

Caudal en función de la longitud para diferentes diámetros.

20 [m³/h] =

Se prueba para el primer valor $\text{Ø} = 5,594 \cdot (50)^{-0,5} = 0,79 \text{ [lt/min]}$

para el segundo $\text{Ø} = 12,377 \cdot (50)^{-0,5} = 1,75 \text{ [lt/min]}$

para el tercero $\text{Ø} = 27,244 \cdot (50)^{-0,5} = 3,85 \text{ [lt/min]}$

Caudales volumétricos por longitud para distintas secciones de interés para pequeñas y medianas instalaciones:

L [m]	3/8	1/2	3/4	1 inch	1 y 1/2	2 inch
2	1.750	3.580	9.900	20.250	55.800	
4	1.230	2.500	7.000	14.325	39.500	81.050
5	1.100	2.250	6.250	12.810	32.230	72.500
10	780	1.600	4.400	9.000	24.950	51.250
15	650	1.300	3.600	7.200	20.000	42.500
20	550	1.130	3.125	6.400	17.655	36.250
30	450	925	2.550	5.250	14.100	29.600
50	350	715	1.975	4.035	11.165	23.000

(Fuente: consulta a distribuidores. TPI. OU 2005)

Ej. Planilla tipo para relevamiento de línea de fluidos por tramo indicando caudal, longitudes, presiones iniciales y finales, caída para cálculos, velocidad del flujo y tipo de uniones (accesorios).

RAZON SOCIAL ENTE DE CONTROL									
RAZON SOCIAL OBRA CONTROLADA									
Ubicación obra controlada									
Fecha:				Observaciones:					
ID	Q	L	P ₁	P ₂	ΔP	diám	✓	unión	acces
Firma responsable del control									

1.4.- Medidores de caudal:

Utilizando el concepto de conservación de cantidad de movimiento en sistemas cerrados algunos dispositivos utilizan un diseño basado en el tubo de Venturi, que presenta una constricción que produce una importante disminución del área del conducto, con el consiguiente aumento de velocidad y caída de presión, en proporción a la cantidad de flujo circulante.



Aplicando Bernoullí a los incrementos relativos de energía mencionados:

$$E_c = E_p$$

$$\frac{1}{2} v^2 = \frac{P}{\delta}$$

$$\frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{\delta} (P_1 - P_2)$$

Se puede utilizar tanto el incremento de velocidad mediante un rotámetro, como el de presión con un manómetro, para medir el caudal del fluido que circula por una tubería, ya que el diámetro lo define, para el caso, el instrumento que se acopla en el punto de control.

$$Q=vA$$

Q es el caudal volumétrico del fluido circulante

A el área del conducto (πr^2)

Los transductores ultrasónicos no poseen piezas móviles y no entran en contacto con el fluido en cuestión, evitando obstrucciones, pérdidas de carga y cualquier tipo de interacción con el medio, unos basan su funcionamiento en el efecto *Doppler* que mide la velocidad del fluido y que solo se aplica para corrientes que contengan algún tipo de partículas o burbujas, que actúan como referentes.

$$Q = k \Delta f$$

Q es el caudal volumétrico del fluido circulante

K es la constante característica del instrumento que considera (ángulo de incidencia/reflexión, posición de la partícula reflejante, y sección transversal del conducto)

Δf es la variación de frecuencia observada

Otros sistemas ultrasónicos miden el tiempo de tránsito de una onda ultrasónica entre dos puntos corriente arriba y corriente abajo de un emisor, cuya velocidad de propagación se verá afectada por el movimiento del fluido, entonces:

$$Q = K * (t_1 - t_2) / (t_1 * t_2)$$

Q es el caudal volumétrico del fluido circulante

t_1 el tiempo de tránsito de la señal en el sentido de la corriente

t_2 el tiempo de tránsito de la señal en sentido contra corriente

K es la constante característica del instrumento que considera (longitud del camino acústico, razón entre las distancias radiales y axiales de los sensores, distribución de velocidades (perfil de velocidades de flujo), para una sección transversalmente considerada.

Las características del fluido que ha de medirse es fundamental para la correcta elección del caudalímetro ya que son diseñados para un tipo de sustancia; encontraremos caudalímetros para agua, para combustibles, para sustancias corrosivas, viscosas, aire comprimido, vapor, gases, flujo de sólidos, gases húmedos, fluidos sucios, electromagnéticos por ultra sonido,

etc. Con rangos de trabajo acotados en cuanto a tipo de fluido, caudales y presiones.

Los caudalímetros electromagnéticos basan su funcionamiento en la Ley de la inducción de Faraday que explica como un campo magnético induce una corriente en un conductor cuando existe movimiento relativo entre ambos.

Ley de Faraday: $fem = D.v.B$

fem es el valor de la fuerza electromotriz inducida

D el diámetro de conductor

v la velocidad relativa entre el conductor y el campo

B es el valor del campo magnético (inducción)

Este tipo de caudalímetro proporciona un campo magnético perpendicular a la dirección de la conducción del fluido y mide la tensión generada por el efecto electromagnético, la que depende de la conductividad del fluido, y el perfil de distribución de velocidades, ya que solo es efectivo y preciso para flujos en régimen turbulento.

Los caudalímetros presentan una oportunidad inigualable para el cálculo de balance y control en una gran cantidad de casos e inexplicablemente no son tan populares como debiera esperarse por su relativamente bajo costo y potencial de automatizar las líneas a las que se integran.

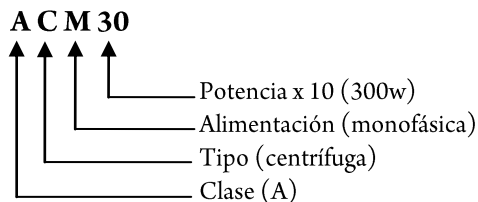
1.5.- Bombas:

Actualmente no existe prácticamente ninguna industria alimentaria que no requiera el uso de bombas para transportar fluidos o sólidos fluidizados.

Los tipos de bombas se han extendido enormemente según el criterio de clasificación que se adopte, pudiéndose encontrar disponibles Bombas centrífugas, verticales, horizontales, dosificadoras, neumáticas, de tornillo, sumergibles, peristálticas, a diafragma; bombas para agua, para efluentes, para fluidos viscosos; bombas de pozo y especiales y muchas otras.

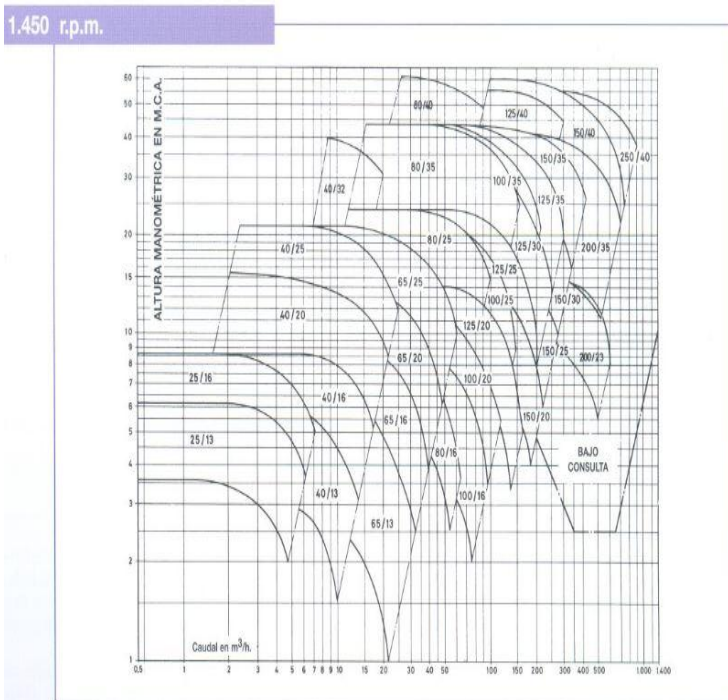
Las bombas centrífugas son de las más utilizadas por su aplicabilidad en la mayoría de los líquidos de la industria alimentaria, sin embargo, precisamente esta actividad presenta una gran variedad de fluidos plásticos y pseudoplásticos que requieren el uso de otro tipo de bombas.

Fabricantes aplican el código de identificación siguiente:



Algunos autores de bibliografía referida a equipos de bombeo, clasifican las bombas solo por su principio de funcionamiento en Bombas dinámicas, cuando aportan energía continuamente a los fluidos y de Desplazamiento positivo cuando muestran una relación directa entre los movimientos de los elementos bombeados y la cantidad de fluido movilizado.

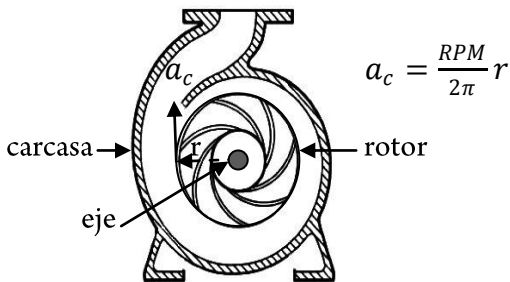
Todos fabricantes presentan los rangos operativos de sus distintos modelos mediante mapas de curvas características.



Catálogo de Bombas INTERCAL (<https://bombas-intercal.com/>)

Bombas centrífugas

El principio de su funcionamiento es la aceleración centrífuga, fenómeno que se manifiesta virtualmente sobre una masa que se desplaza circularmente en relación a un punto central.



La bomba centrífuga requiere para su buen funcionamiento que el fluido no sea de muy baja densidad para que su masa proporcione un valor eficaz de fuerza bajo el efecto de la aceleración centrífuga, y que tampoco sea muy alta su viscosidad, ya que el rozamiento interno tornaría ineficiente su aplicación; y se compone de cinco partes fundamentales:

Carcasa, rotor (rodete), eje, sello hidráulico y anillo de desgaste, este último es una pieza circular colocada entre el rotor y la carcasa para absorber el desgaste, y proporcionar una pieza de recambio más económica y de fácil mantenimiento; el sello hidráulico es una pieza en forma de anillo (ring) que mantiene la estanqueidad del sistema entre el eje y la carcasa.

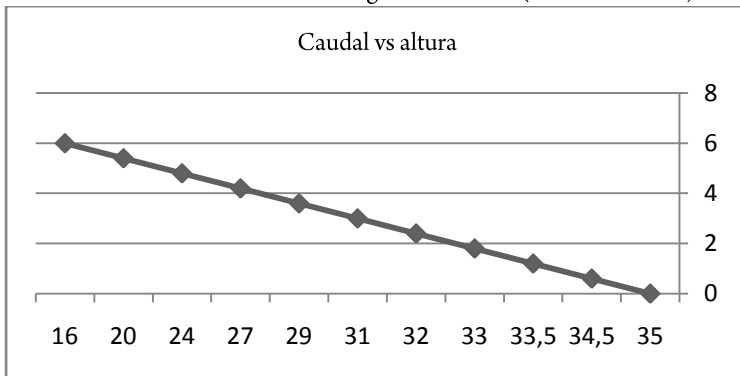
La elección de una bomba centrífuga considera las dimensiones de las cañerías de entrada y salida, la energía que debe transmitir al fluido expresada en términos de altura potencial y el caudal requerido de servicio.

La mayoría de las bombas de bajas potencias expresan la relación entre caudales y alturas (potenciales) que pueden cubrir en su funcionamiento mediante una tabla impresa solidaria a la carcasa, conocida como placa, donde se expresa además otras características operativas como tensión necesaria de la red eléctrica, potencia y factor de potencia ($\cos \phi$).

Tabla N°19

MODELO	POTENCIA		Q (m ³ /h)	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0
1 FASE	kW	HP	Q (l/min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ACm37	0.37	0.5	H (m)	23	21.5	21	20.5	19.5	18	17	15.5	14	12	
ACm75	0.75	1.0		35	34.5	33.5	33	32	31	29	27	24	20	16

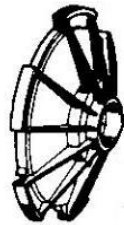
Planilla técnica bombas centrífugas IUSA LEO (ws.iusa.com.mx)



Bombas Jet

Este tipo de equipos es comúnmente usado en la industria alimentaria para transportar fluidos de características similares al agua que se utilicen como insumos de algún producto; su carcasa e impulsor son de acero inoxidable y su estructura de soporte suele tener tratamiento anticorrosivo.

El rotor en estas bombas es reemplazado por una pequeña turbina que permite alcanzar valor comparativamente superior de presión.



Turbina



Rotor (cubierto)

Las bombas jet progresivamente están reemplazando a las centrífugas por sus grandes prestaciones, bajo mantenimiento y competitiva relación precio beneficio.

El aspecto externo de las bombas jet es parecido a las centrífugas ya que las turbinas son escasamente más voluminosas que los rotores.

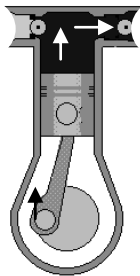
Bombas de desplazamiento positivo

Se usan cuando se necesitan altas presiones de trabajo; su nombre se debe a que en un determinado momento el fluido y el impulsor se mueven en la misma dirección y sentido.

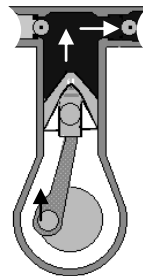
Bomba de pistones

Son bombas volumétricas, ya que desplazan sus fluidos debido a que el pistón impulsor modifica el volumen que estos ocupan en la cámara de compresión, generalmente se emplean cuando se requieren altas presiones, ya que admiten caudales de hasta $100 \text{ m}^3/\text{h}$, con presiones de trabajo de hasta $10,0 \text{ MPa}$ y también resultan aptas cuando se debe transportar fluidos de elevada viscosidad y/o densidad.

Una variación de esta bomba es la que se obtiene reemplazando el pistón por el accionar de una membrana flexible



Bomba de pistón



Bomba de membrana

En la actualidad se ofrecen bombas de doble membrana también llamadas de doble efecto que presentan flujos de presión continua y se utilizan corrientemente en la alimentación de filtros prensa, reactores y para transporte de lodos.

Bomba helicoidal

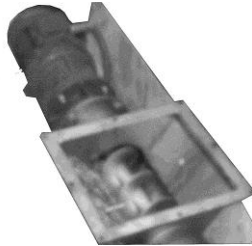
Se recuerda que hace más de dos mil años Arquímedes usaba su famoso tornillo para elevar agua, como se sigue haciendo en la actualidad con las bombas de impulsor helicoidal. Resultan apropiadas para el transporte de líquidos muy viscosos (hasta 700 Pa.s) y densos como masas y pastas. Son de construcción robusta y mantenimiento sencillo, para altas presiones se usan sistemas de doble tornillo.



Impulsor helicoidal o Husillo

sistema de doble tornillo

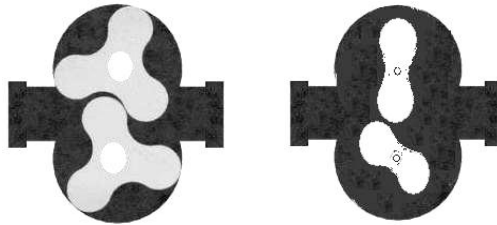
Los sistemas de doble tornillo tienen la ventaja de no cavitarse debido a que los giros antagónicos de los husillos compensan los momentos angulares del sistema y su desventaja es que no trabajan en seco, ya que el fluido lubrica el contacto entre los tornillos y el interior de la carcasa, generalmente de caucho.



Bomba a tornillo

Bombas de émbolos

Existen varias versiones de estas bombas (*roots*) como las de émbolo rotativo y émbolo giratorio y tienen la capacidad de manejar sólidos con altos contenidos de sólidos, en el orden del 25%, y generalmente se utilizan para bombear efluentes no tratados o pastas que pueden someterse a altas presiones, aunque estas bombas son aptas para trabajar en condiciones de vacío hasta unos pocos milibares.



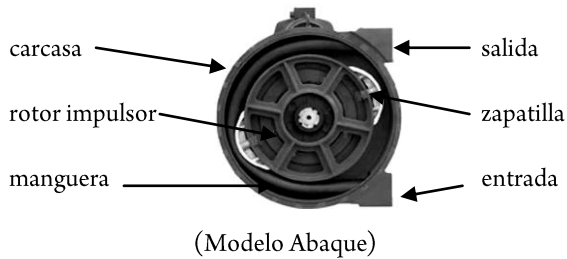
En la industria alimentaria estas bombas permiten tratar sustancias muy viscosas en pequeñas cantidades precisas, como en el caso de inyectar jaleas o mermeladas en el interior de productos rellenos o colocarlos como cobertura de fantasía.

Bombas peristálticas

Estos novedosos sistemas imitan los movimientos del intestino, de allí su nombre, mediante un tubo de goma que es presionado por unos impulsores o zapatillas.

Son indicadas como dosificadoras y brindan flujos estables y precisos imposibilitando los reflujos.

Su mantenimiento es relativamente sencillo ya que solo la manguera tiene contacto con el fluido; son aptas para sustancias viscosas y relativamente densas.



Una aplicación muy corriente es usarlas como dosificadoras de precisión, como por ejemplo para inyectar anti incrustante en un sistema de ósmosis inversa.



Dosificadora peristáltica

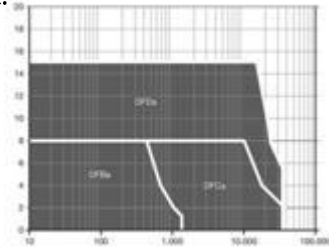
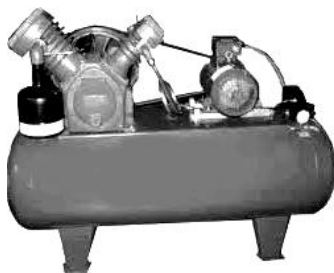


Diagrama típico de bombas peristálticas

1.6.- Compresores:

Aunque técnicamente son bombas se los suele diferenciar porque están diseñados para tratar fluidos compresibles como el aire (el agua no se puede comprimir).

Los compresores modernos suelen ser del tipo rotativo pero por lo general las medianas y pequeñas industrias alimentarias se proveen de aire comprimido mediante los más antiguos pero efectivos compresores de pistones y cilindros, que suelen ser bastante ruidosos.



Típico compresor de pistones.

Las capacidades de los compresores se expresan en unidades de potencia (habitualmente en HP), volumen del depósito (en litros) y presión máxima admisible (en bares). Un pequeño compresor mono cilíndrico trifásico, como para proporcionar aire comprimido para una línea de control automático) suele tener al menos un depósito de 100 lt, potencia de 4HP y presión de 4 a 8 bares.

1.7.- Agitación de fluidos

En consideración al comportamiento de los fluidos al someterse a un esfuerzo cortante se los puede clasificar en Newtonianos, Pseudoplásticos y Dilatantes.

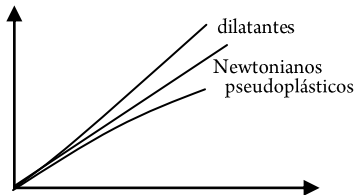
$$\tau = \mu \left(\frac{dy}{dz} \right)^n \frac{dy}{dz}$$

donde:

τ es el esfuerzo cortante aplicado

μ es la viscosidad del fluido

$\frac{dy}{dz}$ es la deformación producida entre dos ejes espaciales



En general los fluidos de interés en la industria alimentaria son del tipo no Newtonianos, o sea que su viscosidad varía con la agitación, además de la temperatura.

Los fluidos no Newtonianos se consideran dilatantes cuando su viscosidad aumenta proporcionalmente con su agitación, pseudoplásticos cuando su viscosidad disminuye cuando más se los agita, tixotrópicos cuando su viscosidad disminuye a medida que son agitados por más tiempo y viscoelásticos cuando su viscosidad varía según su ciclo de mezclado aumentando y disminuyendo para determinadas combinaciones de tiempos y esfuerzos.

Considerando la geometría de las líneas de flujo del régimen turbulento resulta razonable especular que las mezclas serán más eficaces cuando el número de Reynolds del sistema verifique esta condición.

$$\text{Re} = \frac{\text{RPM } D^2 \delta}{\mu} \quad (\text{aquí se considera "RPM} \cdot D" \text{ en lugar de "v"})$$

donde "D" es el diámetro del impulsor agitador.

Para el cálculo de agitadores frecuentemente se recurre al número de potencia, similar al de Reynolds.

$$\text{Np} = \frac{P}{60 \text{ RPM}^3 D^5 \delta}$$

P es la potencia entregada al sistema fluido

RPM el número de vueltas por minuto del impulsor agitador

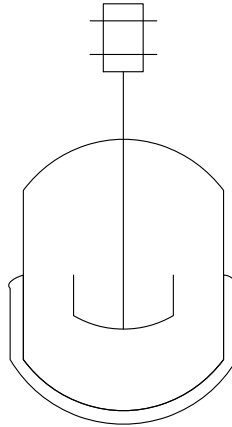
D el diámetro del impulsor agitador

δ la densidad del fluido

Clasificación de agitadores

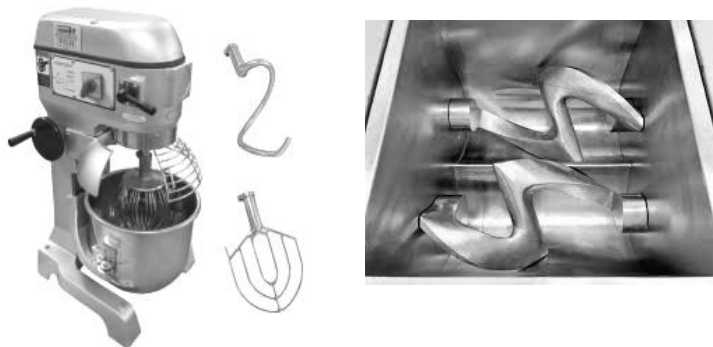
Los impulsores agitadores originales de la industria alimentaria son las palas, que como su nombre lo sugiere, se construían de madera (palo) y se operaban manualmente, tal como todavía se usan las cucharas de madera en la mayoría de las cocinas de nuestro país. Para adaptarlos a las exigencias de la escala los sistemas se han mecanizado y las palas de madera sustituido por elementos mecánicos de acero inoxidable que

giran en el sentido de la generatriz de la forma del recipiente contenedor.

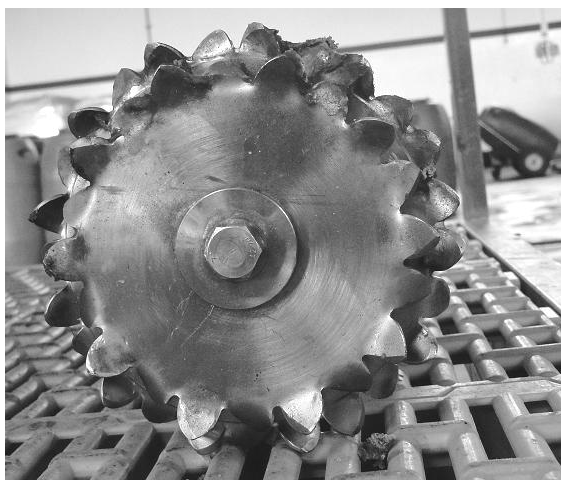


Las palas presentan por su diseño un momento de torsión importante, motivo por el cual se usan generalmente solo en sistemas de velocidades relativamente bajas del orden de 20 RPM y siempre menos de 100 RPM. Resultan indicadas en la fabricación de dulces y mermeladas, cervezas y lácteos.

En aplicaciones viscosas como las masas y rellenos de panadería y en la formación de pastas en general se han desarrollado agitadores característicos con herramientas especializadas como las amasadoras “doble Z” o las mezcladoras planetarias que están diseñadas de manera de impedir la formación de los vórtices, que disminuyen el rendimiento de los equipos.



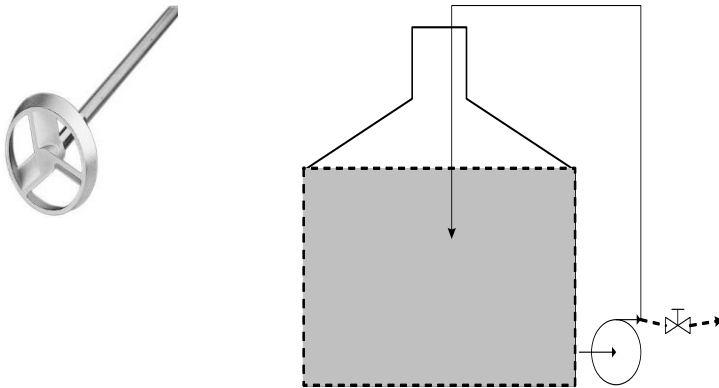
Cuando se requiere mayores velocidades se dispone de los agitadores de hélice que realizan un esfuerzo en sentido axial que frecuentemente se complementa con diseños excéntricos o recipientes que contienen buffers para evitar los vórtices.



Producen corrientes turbulentas en líquidos de baja viscosidad y permiten expulsar aire en sistemas complementados con bombas de vacío.

Sus velocidades generalmente superan los 400 RPM y pueden alcanzar las 2000 RPM, según las necesidades de la mezcla.

En sistemas que requieren la incorporación de aire o el aseguramiento de la renovación completa de un líquido (eliminación de zonas estancas o bolsas) se utilizan agitadores de turbina o sistemas de recirculación por bombeo.



El uso de un sistema de bombeo permite incorporaciones dosificadas mediante conexiones que aprovechan el efecto Venturi.

