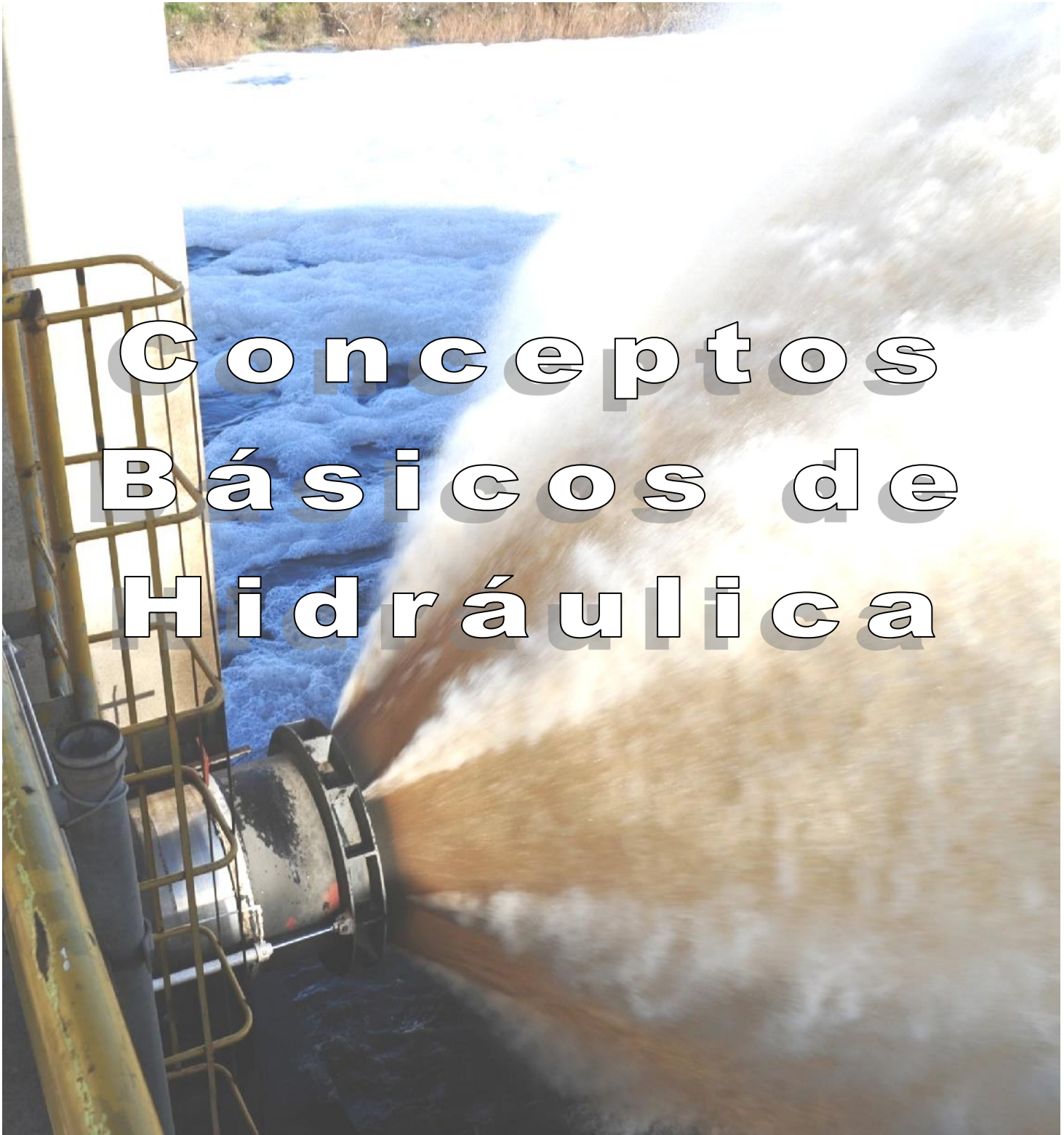




Conceptos Básicos de Hidráulica

Índice

1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS	5
<i>Fluidos</i>	5
<i>Fuerza</i>	5
<i>Densidad y peso específico</i>	7
Densidad.....	7
Peso específico	7
<i>Presión</i>	7
Diferencia entre fuerza y presión.	8
Presión atmosférica	9
Presión absoluta y manométrica	10
Caudal y Velocidad.	11
2. HIDROSTÁTICA.....	13
<i>Principio de Pascal</i>	13
<i>Presión hidrostática</i>	14
PRESIÓN DE UNA COLUMNA DE LÍQUIDO.	15
ALTURA PIEZOMETRICA.....	15
Vasos comunicantes.	16
Ejemplo de vasos comunicantes:.....	17
Ejemplo de Presión atmosférica	17
3. HIDRODINÁMICA	18
CAUDAL DE UNA CORRIENTE LÍQUIDA	18
RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA SECCIÓN	19
<i>Flujo en régimen permanente</i>	19
Tipos de movimiento de un flujo	19
ECUACIÓN DE BERNOULLI.	20
<i>Tubo Venturi</i>	22
<i>Tubo Pitot</i>	23
FLUJOS VISCOSOS: (PÉRDIDA DE CARGA)	24
<i>La pérdida de carga depende de:</i>	25
<i>Tipos de pérdidas de carga:</i>	25
4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	27
<i>Válvulas hidráulicas de control.</i>	27
Componentes de una válvula reguladora.	27
Funcionamiento de una válvula reguladora.	27
Ejemplo de aplicación de válvula reguladora	28
<i>Bomba de Agua,</i>	32
Electro Bombas sumergibles.....	32
Curvas características de bombas.	33
Ejemplos de aplicación.	34
5. INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	36
<i>Barómetro</i>	36
<i>Manómetro</i>	36
Tubo en U.	36
Tubo Bourdon.....	36

<i>Medidores</i>	37
<i>Caudalímetro</i>	39
APÉNDICE 1 – UNIDADES DE PRESIÓN	41
APÉNDICE 2 – ÁREAS, VOLÚMENES Y AFOROS	42
<i>Cálculos de áreas de figuras geométricas</i>	42
<i>Áreas y volúmenes de algunos cuerpos</i>	43
Tanque esférico	44
<i>Aforos</i> :.....	45
APÉNDICE 3: EJEMPLO APLICANDO BERNOULLI A UN FLUJO DE AGUA EN UNA TUBERÍA:.....	47
APÉNDICE 4. TABLAS DE PÉRDIDAS DE CARGA DISTRIBUIDA	49

Objetivos.

Presentar los conceptos y principios básicos de hidráulica, los cuales son de fundamental importancia para los operadores de redes de agua potable.

Relacionar los conceptos teóricos con aplicaciones prácticas de los trabajos diarios.

Temario

1 Definiciones y conceptos básicos:

- Fluidos
- Fuerza
- Densidad y peso específico
- Presión
- Caudal y velocidad

2 Hidrostática

- Introducción
- Principio de Pascal
- Presión hidrostática
- Vasos Comunicantes

3 Hidrodinámica

- Introducción.
- Caudal de una corriente líquida.
- Energía de una corriente líquida.
- Ley de Bernoulli.
- Pérdida de carga.

4 Ejemplos de aplicación

- Válvulas reguladoras
- Bombas

5 Aparatos de medida

- Manómetro
- Medidores (micromedición)
- Caudalímetro (macromedición)

1. Definiciones y conceptos básicos

Fluidos

¿Qué quiere decir fluido?

Los fluidos son sustancias que se pueden hacer escurrir o fluir, mediante una aplicación apropiada de fuerzas.

Se pueden clasificar en líquidos o gases:

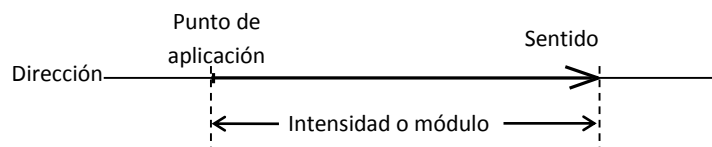
Líquidos: son prácticamente incompresibles, por lo que se puede considerar que su volumen es constante, aunque su forma puede cambiar (como cuando se vierten de un recipiente a otros). Podemos decir que toman la forma del recipiente que los contiene.

Gases: son altamente compresibles (o bien considerando el punto de vista contrario, altamente expansibles), por lo que no tienen un volumen característico; ocupan todo el volumen de recipiente que los contiene.

Fuerza

Las fuerzas no son visibles, reconocemos la existencia de una fuerza por sus efectos. Pueden deformar, cambiar el estado de movimiento del elemento sobre el cual actúan.

La fuerza es una magnitud vectorial, como vector actúa sobre un punto determinado de un cuerpo, punto de aplicación, en una dirección del espacio, en un sentido y una intensidad determinada. Por lo tanto la representamos por una herramienta matemática llamada vector, que es un segmento de recta orientado.



Fuerza Peso: la realiza la Tierra y es una fuerza de atracción sobre todos los elementos que se encuentran en el planeta, como también sobre la Luna, esa fuerza lo realiza mediante un campo

de fuerza que se llama campo gravitatorio, que se representa por la letra “g” y vale en el Sistema Internacional de Medidas¹ $g = 9,8 \text{ N/kg}$, este campo actúa sobre la **masa**².

Si no existiera la fuerza peso, andaríamos flotando, y no podríamos hacer contacto con la superficie de la tierra y sería imposible movernos de un punto a otro ya que para eso necesitamos la acción de una fuerza. Sin la acción de una fuerza, nos mantendríamos en reposo o con movimiento constante o perpetuo, por el espacio. Cuando estamos en reposo, ya sea parado o sentado aparte de la fuerza peso actuando sobre nosotros hay otra fuerza actuando, de tal manera que anule la acción del peso, esa fuerza la realiza el elemento en el que estamos apoyado, una silla, el piso, etc. Para comenzar a caminar, es necesario que la superficie en la que estamos apoyado tenga el rozamiento apropiado para evitar resbalar, en un suelo resbaladizo nos cuesta mucho movernos ya que para movernos necesitamos que actúe sobre nosotros una fuerza en este caso lo va a hacer la superficie en la que estamos parados. Si estoy en un bote, en el medio de un lago que no presente ninguna corriente de agua, ni viento y no cuento con un remo o una hélice de un motor de lancha, me quedaría permanentemente en el medio del lago, para moverme necesito hacer fuerza sobre las aguas del lago para que éstas aguas realicen la fuerza sobre el bote y permitan trasladarme a alguna orilla, esto está de acuerdo a la Tercera Ley de Newton, llamada acción y reacción.

La fuerza peso se representa por la letra P y se calcula.

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad \text{f: 1.1}$$

Las flechas sobre las letras P y g representan que son vectores. Ambos vectores tienen igual dirección, sentido y punto de aplicación (este punto de aplicación está en el centro de gravedad de un cuerpo), difieren en modulo y las unidades en que se mide.

La unidad de Fuerza en el SI se mide en Newton: $N = \frac{kgm}{s^2}$

Las unidades de g en el SI son metro por segundo cuadrado o Newton por kilogramo: $\frac{m}{s^2} = \frac{N}{kg}$

La fuerza en el Sistema Técnico de Unidades (Mkgfs) se mide en kilogramo fuerza:

$$1,0 \text{ kgf} = 9,8N$$

1 kgf es igual a la fuerza peso que actúa sobre un objeto de 1 kg de masa.

1 N es la fuerza neta que actuando sobre un objeto de 1 kg de masa, éste adquiere una aceleración de 1 m/s^2 .

¹ Sistema Internacional de Medidas, se abrevia **SI**, también se llama MKS. **M** significa metro, **K** significa kilogramo y **S** significa segundo. De estas unidades se derivan todas las unidades del SI.

² Masa es una de las características que tienen los elementos que nos conforman y conforman todo lo que nos rodea, sin importar si se encuentra en estado: sólido, líquido, gaseoso, etc.

Densidad y peso específico

Densidad

Definimos a la densidad o masa específica de una sustancia que constituye un cuerpo como el cociente entre la masa del cuerpo y su volumen:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}} \leftrightarrow \rho = \frac{m}{V} \quad \text{f: 1.2}$$

Ejemplo

La densidad absoluta del agua a 25° C = 1 g/ml o 1000 kg/m³ es decir: 1 ml de agua tiene 1 g de masa. 1 l. de agua tiene 1000 g. o 1 kg. de masa. 1 m³ de agua tiene 1000 kg. de masa.

Sistema	Unidades
SI	kg/m ³
CGS	g/cm ³
Mkgfs	utm/m ³

Peso específico

Definimos el peso específico de una sustancia que constituye un cuerpo, como el cociente entre el peso del cuerpo y su volumen.

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{P}{V} \quad \text{f: 1.3}$$

Densidad es la masa de un cuerpo por unidad de volumen.

La densidad tiene que ver con la flotabilidad de los cuerpos, por ejemplo, el hielo flota en el agua líquida porque el primero es menos denso.

Sistema	Unidades
SI	N/m ³
CGS	dyn/cm ³
Mkgfs	Kgf/m ³

El peso específico es el peso de un cuerpo por unidad de volumen. Es igual a la densidad pero multiplicada por g (aceleración gravitatoria).

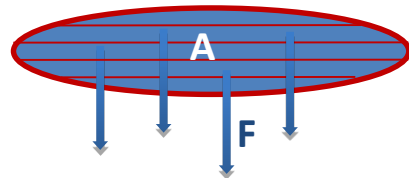
Presión

$$\text{presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} = \frac{F}{A}$$

Ejemplo:

Consideramos la acción de "lustrado" de un automóvil.

Supongamos que en este trabajo está siendo aplicada una fuerza F constante ejercida por la palma de la mano sobre la superficie del automóvil. Aplicando la misma fuerza se quiere quitar una pequeña mancha, para ello reducimos el área, en lugar de utilizar toda la palma de la mano, utilizamos una parte de la palma con esto, aplicando la misma fuerza, se ejerce mayor presión.



La presión es la fuerza por unidad de área de la superficie dónde está aplicada la fuerza:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{f: 1.4}$$

La unidad más comúnmente usada en OSE es el Kgf/cm^2 y el m.c.a. (metro columna de agua).

$$1,0 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ m. c. a.}$$

Existen otras unidades como ser:

- $\text{N/m}^2 = \text{Pascal}$
- Atmósferas
- $\text{mm de Hg} = \text{torr}$ (en homenaje a Evangelista Torricelli)
- $\text{Psi (lbf / pulg}^2)$

Ver apéndice 1

EJEMPLOS:

- Si queremos calcular la presión que ejerce un clavo cuya punta tiene una superficie de 0.0080 cm^2 cuando sobre su cabeza se aplica una fuerza de 2 kgf. Expresa el resultado en kgf/cm^2 .

$$\text{Repuesta: } P = \frac{2,0 \text{ kgf}}{0.0080 \text{ cm}^2} = 250 \text{ kgf/cm}^2$$

- Si queremos calcular la presión que ejercería el mismo clavo, soportando la misma fuerza, pero apoyada sobre su cabeza, cuya superficie mide 0.15 cm^2 . Expresa el resultado en kgf/cm^2

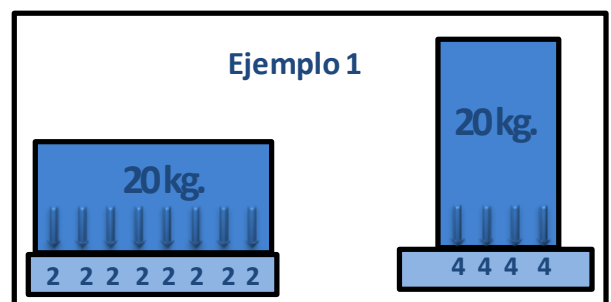
$$\text{Repuesta: } P = \frac{2,0 \text{ kgf}}{0.15 \text{ cm}^2} = 12,5 \text{ kgf/cm}^2$$

Diferencia entre fuerza y presión.

Como suele confundirse, conviene conocer la diferencia. Los ejemplos que siguen la señalarán.

- Fuerzas iguales pueden producir presiones diferentes.

Ejemplo 1: Sean dos prismas de 20 Kgf, pero el primero con 10 cm^2 de base y el segundo con solo $5,0 \text{ cm}^2$. Las

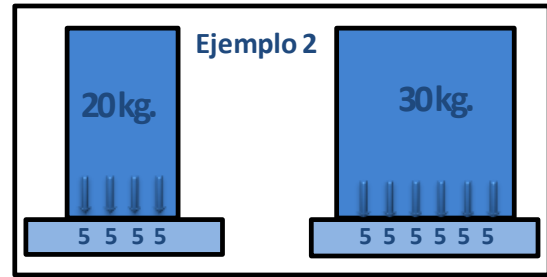


presiones que cada uno ejerce sobre su base son como en el primer caso:

$$P_{1^o} = \frac{20 \text{ kgf}}{10 \text{ cm}^2} = 2,0 \text{ kgf/cm}^2 \quad P_{2^o} = \frac{20 \text{ kgf}}{5,0 \text{ cm}^2} = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$$

- Fuerzas diferentes pueden producir presiones iguales.

Ejemplo 2: Imaginemos dos cilindros el primero pesa 20 Kgf, y su base mide 4,0 cm². El segundo pesa 30 Kgf, y su base mide 6,0 cm². Calculemos las presiones ejercidas por cada uno sobre su base.



$$P_{1^o} = \frac{20\text{kgf}}{4,0\text{cm}^2} = 5,0\text{ kgf/cm}^2$$

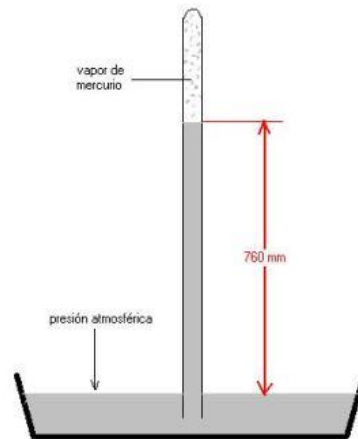
$$P_{2^o} = \frac{30\text{kgf}}{6,0\text{cm}^2} = 5,0\text{ kgf/cm}^2$$

Presión atmosférica



La presión atmosférica es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie de la tierra.

Evangelista Torricelli físico y matemático italiano fue primero en medir la presión atmosférica, utilizando un tubo de vidrio, con un extremo cerrado, de aproximadamente, un metro de longitud, lo llenó de mercurio y tapando con su dedo el extremo libre, lo sumergió en una vasija con mercurio, cuando estaba vertical, destapó el extremo libre y observó que el mercurio descendía hasta alcanzar una altura de 760 mm, con referencia a la altura de mercurio de la vasija.



En el extremo cerrado del tubo, la presión era prácticamente 0, ya que estaba al vacío son algunos vapores de mercurio, la superficie de mercurio de la vasija está afectada por la presión atmosférica, el peso de la columna de mercurio, está en equilibrio por la fuerza que ejerce la presión atmosférica.

Evangelista Torricelli afirmó "Vivimos en el fondo de un océano del elemento aire, el cual, mediante una experiencia incuestionable, se demuestra que tiene peso".

La presión atmosférica es del orden de los 760 mm Hg (milímetros de mercurio), medida con exactitud por primera vez por Torricelli, esta experiencia dio lugar a la construcción de los primeros barómetros (instrumentos que miden la presión atmosférica)

Otto Von Guericke, fue un físico alemán que vivió en el siglo XVII. En 1654, hizo una espectacular demostración de la inmensa fuerza que ejerce la presión atmosférica. Mostró que cuando dos hemisferios de cobre de 50 centímetros de diámetro perfectamente ajustados eran unidos de manera que formasen una esfera y se hacía el vacío en su interior (presión interior cero), dos tiros de ocho caballos cada uno no podían separarlos.



La presión atmosférica puede hacer que el agua se eleve por un tubo, hasta una altura de 10,33 metros, cuando en el extremo superior del tubo se haya hecho el vacío.

La presión atmosférica experimenta variaciones de acuerdo a cambios meteorológicos; **se ha definido la presión de 760 mm Hg, 1013 hPa (hectopascal), como la presión normalizada de 1 atmósfera.**

En Uruguay la presión atmosférica varía, por lo general, entre 1000 hPa (baja presión) y 1026 hPa (alta presión).

Presión absoluta y manométrica

La diferencia entre la presión manométrica y la absoluta es el origen o referencia con la que estamos trabajando.

La presión absoluta refiere a la presión de un fluido medida desde un punto en que no hay presión o vacío absoluto.

La presión manométrica es la presión de un fluido por encima de la presión atmosférica. Es decir, es la que se mide a partir de 1 Kgf/cm² o 1 atm.

La presión manométrica se mide con un manómetro.

Ejemplo: cuando medimos con un manómetro la presión del agua y vale 2 Kgf/cm², lo que se está midiendo es la presión por encima de la atmosférica, es decir que la presión absoluta sería:

$$P_a = 1 \text{ kgf/cm}^2 + 2 \text{ kgf/cm}^2 = 3 \text{ Kgf/cm}^2$$

En general, la presión absoluta (Pa) es la suma de la manométrica (Pm) más la atmosférica (P₀):

$$P_a = P_o + P_m$$

f: 1.5

Caudal y Velocidad.

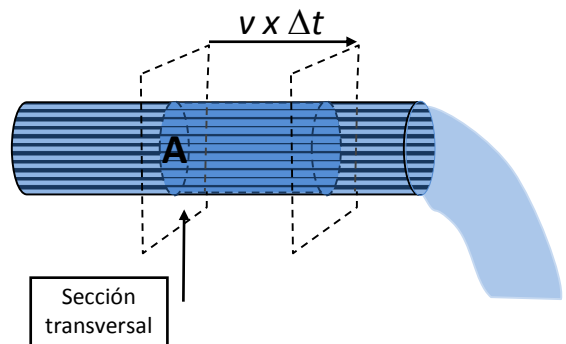
Caudal de una corriente de agua.



Supongamos una corriente de agua por una cañería. Se llama caudal Q al cociente entre el volumen V de líquido que pasa por una sección transversal de tubería de área A y el intervalo de tiempo Δt que emplea en pasar.

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad \text{f: 1.6}$$

Si la velocidad con que se mueve el líquido es v , en un intervalo de tiempo de Δt segundos recorrerá una distancia $d = v \times \Delta t$. Si suponemos que la corriente de agua tiene forma cilíndrica, el volumen de V de agua que ha pasado en un intervalo de tiempo de Δt segundos ocupa el volumen de un cilindro que tiene un área de sección A y $v \times \Delta t$ de altura.



Entonces:

$$Q = \frac{A v \Delta t}{\Delta t} = A v \quad \text{f: 1.7}$$

Ejemplo: por un tubo que tiene un área de sección $A = 10 \text{ cm}^2$ circula una corriente de agua cuya velocidad es $5,0 \text{ m/s}$ (metro por segundo). ¿Qué cantidad de líquido, expresada en litros, atraviesa la sección A en 10 segundos?

Como $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$; debemos convertir los cm^2 a dm^2 y los m/s a dm/s

$$10 \text{ cm}^2 = 0,10 \text{ dm}^2$$

$$5,0 \text{ m/s} = 50 \text{ dm/s}$$

$$V = A v \Delta t \leftrightarrow V = 0,10 \text{ dm}^2 \times 50 \frac{\text{dm}}{\text{s}} \times 10 \text{ s} = 50 \text{ dm}^3 = 50 \text{ l}$$

– Respuesta: 50 l (50 litros)

En resumen:

El Caudal Q se calcula como el volumen de agua V que atraviesa una sección de una tubería A en un determinado período de tiempo Δt es decir:

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

Las unidades de medida más comunes son: L/s, m³/s, m³/h, m³/d.

La velocidad media del fluido en una tubería **v**, se define como el caudal **Q** que transporta dicha tubería por unidad área **S**, es decir: **v = Q/S**. La unidad de medida más comúnmente usada es: **m/s**.

Ejemplos de cálculo:

Una tubería de diámetro interior **d = 1,0 m**, transporta un caudal **Q = 1,0 m³/s**. Calcular la velocidad media **v** en la tubería.

Calculamos primero el área de la sección transversal.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \leftrightarrow A = \frac{\pi 1,0^2 m^2}{4} = 0,785 m^2$$

Ver apéndice 2

$$v = \frac{Q}{A} \leftrightarrow v = \frac{1,0 m^3/s}{0,785 m^2} = 1,27 m/s$$

– Respuesta: **v = 1.27 m/s**.

Si en la tubería del ejemplo anterior la velocidad media fuera de **v = 1.5 m/s**. Calcular el caudal y expresarlo en m³/s y m³/h.

$$Q = A v \leftrightarrow Q = 0,785 m^2 \times 1,5 m/s = 1,1775 m^3/s \rightarrow Q = 1,18 m^3/s$$

Sabemos que 1 h = 60 min, que 1 min = 60 s por lo tanto 1h = 3600 s. De acuerdo al caudal, pasan 1,18 m³ en un segundo, para calcular el caudal por hora haríamos:

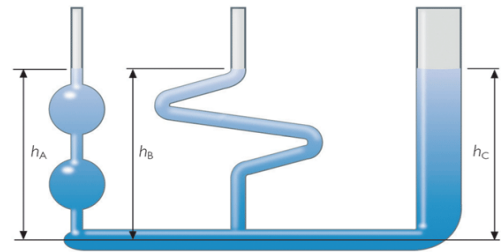
$$1,18 m^3/s \times 3600 s/h = 4248 m^3/h$$

– Respuesta: **Q = 1.18 m³/s = 4239 m³/h**

2. Hidrostática

Introducción.

Se va a estudiar en este capítulo las propiedades y leyes fundamentales de los fluidos en reposo.



Los temas que vamos a desarrollar son:

Principio de Pascal
Presión hidrostática
Vasos comunicantes

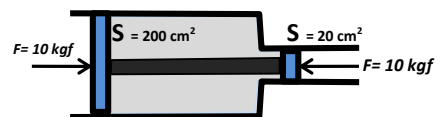
Principio de Pascal

Una característica de los sólidos, es tener forma propia. Los fluidos en cambio, no tienen forma determinada, y adoptan la del recipiente que los contiene.

Los fluidos son sustancias que se pueden hacer escurrir o fluir, mediante una aplicación apropiada de fuerzas.

Se pueden clasificar en líquidos o gases: los primeros son prácticamente incompresibles, por lo que se puede considerar que su volumen es constante, aunque su forma puede cambiar (como cuando se vierten de un recipiente a otros); los gases son altamente compresibles (o bien considerando el punto de vista contrario, altamente expansibles), por lo que no tienen un volumen característico; ocupan todo el volumen de recipiente que los contiene.

Supongamos dos pistones unidos por una varilla rígida, dentro de dos cilindros de diámetros distintos unidos como muestran la figura y no contiene ningún fluido incompresible.

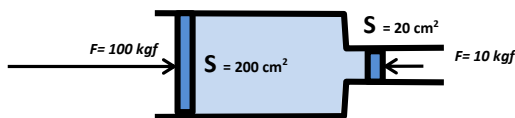


Si sobre el pistón chico aplicamos una fuerza de 10 kgf., para equilibrarla debe ejercerse sobre el pistón grande una fuerza de 10 kgf. La varilla ha transmitido la fuerza.

Un sólido transmite la fuerza que se ejerce sobre él

Saquemos la varilla que une los dos pistones, y llenemos el cilindro con un fluido incompresible como el agua. Volvamos a aplicar la fuerza de 10 kgf sobre el pistón chico.

Observaremos que, para equilibrarla, ahora necesitamos aplicar sobre el pistón grande no 10 kgf, sino 100 kgf. Por lo pronto vemos que los líquidos no transmiten las fuerzas. Pero entonces, ¿qué es lo que transmiten?



Sobre el émbolo chico se aplicó una fuerza de 10 kgf, y como su superficie mide 20 cm² la presión ejercida es de:

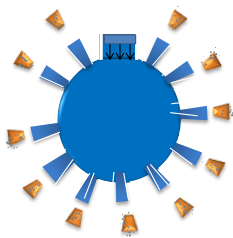
$$P = \frac{F}{A} \quad P = \frac{10 \text{ kgf}}{20 \text{ cm}^2} = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$$

Sobre el émbolo grande se ha aplicado una fuerza de 100 kgf., y como su superficie es de 200 cm², la presión ejercida es de:

$$P = \frac{F}{A} \quad P = \frac{100 \text{ kgf}}{200 \text{ cm}^2} = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$$

Un líquido transmite la presión que se ejerce sobre él.

El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo.



Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma velocidad y por lo tanto con la misma presión.

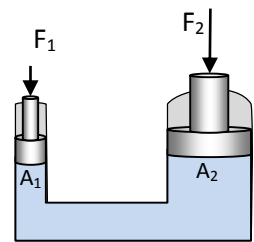


El principio de Pascal se utiliza por ejemplo como base del funcionamiento de las prensas hidráulicas o gatos hidráulicos.

Cuando se aplica una fuerza F_1 sobre un área A_1 la presión ejercida vale:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Debido al principio de Pascal sabemos que la presión que se le ejerce al pistón 2 (P_2) es igual a la del pistón 1 (P_1).



$$P_1 = P_2 \quad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow F_1 = \frac{F_2 A_1}{A_2}$$

Ejemplo: Considerar una prensa hidráulica como la del esquema. Calcular la fuerza F_1 que se debe ejercer en el pistón de área A_1 para soportar un objeto que ejerce una fuerza de 400 Kg sobre el pistón de área A_2 , sabiendo que el área A_1 es 20 veces más chica que el área A_2 .

$$\frac{A_2}{A_1} = 20 \rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{20} \quad F_1 = \frac{F_2 A_1}{A_2} \rightarrow F_1 = \frac{400 \text{ kgf}}{20} = 20 \text{ kgf}$$

Respuesta: 20 kgf

En todo punto interior de un fluido incompresible hay presiones en todas direcciones y en todos sentidos y todas son iguales.

Presión hidrostática

La presión hidrostática es la presión debida al peso de un fluido en reposo

PRESIÓN DE UNA COLUMNA DE LÍQUIDO.

Consideremos una superficie horizontal S de un líquido en reposo a una profundidad h . Todos los puntos que están en esa superficie soportan la misma presión pero ¿cuánto vale esa presión?, ¿de qué factores depende?

En primer lugar, esa presión se debe al peso F de la columna de líquido que hay encima de la superficie S .

Sabemos que: $P = \frac{F}{A}$

Si llamamos V al volumen de la columna de líquido, y γ su peso específico, el peso F es:

$$F = V \gamma \quad \text{f: 2.1}$$

El volumen es $V = A \times h$

Remplazando en la fórmula de la presión se tiene:

$$p = \frac{V \gamma}{A} \rightarrow p = \frac{A h \gamma}{A}$$

$$P_m^3 = h \gamma \quad \text{f: 2.2}$$

Ej. Calcular la presión que soporta un buzo sumergido en el mar a 10 m de profundidad.

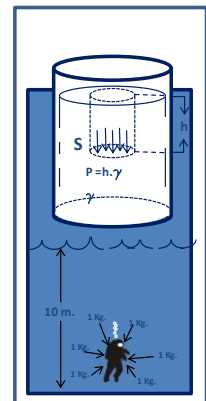
Admitiendo que el peso específico del agua va de $1,0 \text{ gf}^4/\text{cm}^3$ resulta:

$$p = h \times g = 10 \text{ m} \times 1 \text{ gf/cm}^3 = 1000 \text{ gf/cm}^2$$

$$1000 \text{ gf} = 1,0 \text{ kgf}$$

$$p = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$$

Es decir que cada cm^2 de la superficie del buzo soporta una fuerza de 1,0 kgf.



La respuesta no es del todo correcta ya que actúa la presión atmosférica. La presión absoluta sería la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica o hidrostática.

$$p_{Ab} = p_0 + h \gamma \quad \text{f: 2.3}$$

Presión manométrica: $p_m = h \gamma$

ALTURA PIEZOMETRICA

La altura h de una columna de líquido que produce una presión p , la denominamos *ALTURA PIEZOMETRICA*.

Si en la última ecuación suponemos despreciable el valor de la presión atmosférica, entonces:

³ Presión manométrica o Hidrostática p_m

⁴ Gramo de fuerza unidad **gf**

$$h = \frac{P_m}{\gamma}$$

f: 2.4

EJEMPLO:

Dos tanques cilíndricos de abastecimiento de agua de una ciudad contienen:

Tanque 1: Altura de agua = 10 m, Diámetro = 5,0 m, Volumen de agua = 196.250 L

Tanque 2: Altura de agua = 10 m, Diámetro = 10 m, Volumen de agua = 785.000 L

Ambos tanques en sus bases tiene una canilla, ¿Cuál de las dos tiene mayor presión?

Calcularlas.

Respuesta: La presión es la misma y vale 10 m.c.a. = 1,0 kgf / cm²

IMPORTANTE:

LA Presión Hidrostática o Manométrica EN UN TANQUE O CUALQUIER OTRO RECIPIENTE DEPENDE UNICAMENTE DE LA ALTURA DE AGUA.

$$P = h \gamma$$

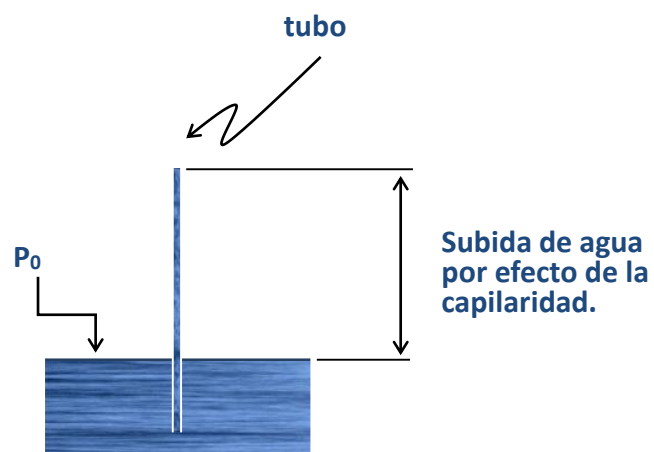
Vasos comunicantes.

Dado un líquido en equilibrio, en vasos de formas diferentes que se comunican entre sí, podemos afirmar que el nivel del líquido en todos los casos será el mismo, siempre que la comunicación de los vasos se encuentre debajo del nivel del líquido y que ningún vaso sufra efecto de capilaridad.



Capilaridad: el efecto de la capilaridad es observado en tubos extremadamente finos, en los cuales la fuerza de adhesión del líquido a las paredes es superior al peso de la columna del líquido

Un ejemplo de capilaridad: En un tubo de 1,0 mm de diámetro interno, el agua sube aproximadamente 35 cm.



Ejemplo de vasos comunicantes:

Las dos primeras figuras, representan dos pistones, que tienen en el extremo inferior un tubo conectado a un vaso comunicante sometido a la presión atmosférica.

Si el efecto de Capilaridad es despreciable, para medir la presión en el interior del pistón, podemos hacerlo por medio de la lectura de la altura piezométrica del líquido en el vaso comunicante.

Esta relación sirve para medir la presión de un fluido. Conociendo el peso específico γ y midiendo la altura h se determina la presión en la parte inferior del recipiente.

Esto se puede trasladar a una tubería de agua, por ejemplo si perforamos una tubería de agua y colocamos un tubo de 6 m de altura. Sabiendo que la presión del agua en esa tubería es 0.5 Kg/cm^2 , ¿hasta qué altura ascenderá el agua en el tubo?

$$0,5 \text{ kg/cm}^2 = 5000 \text{ kg/m}^2$$

El peso específico del agua es $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$.

$$h = \frac{p}{\gamma} \rightarrow h = \frac{5000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

Respuesta: 5,0 m

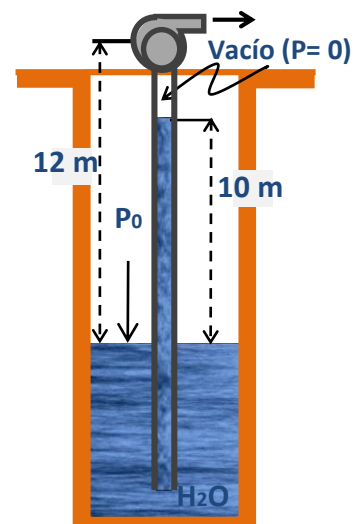
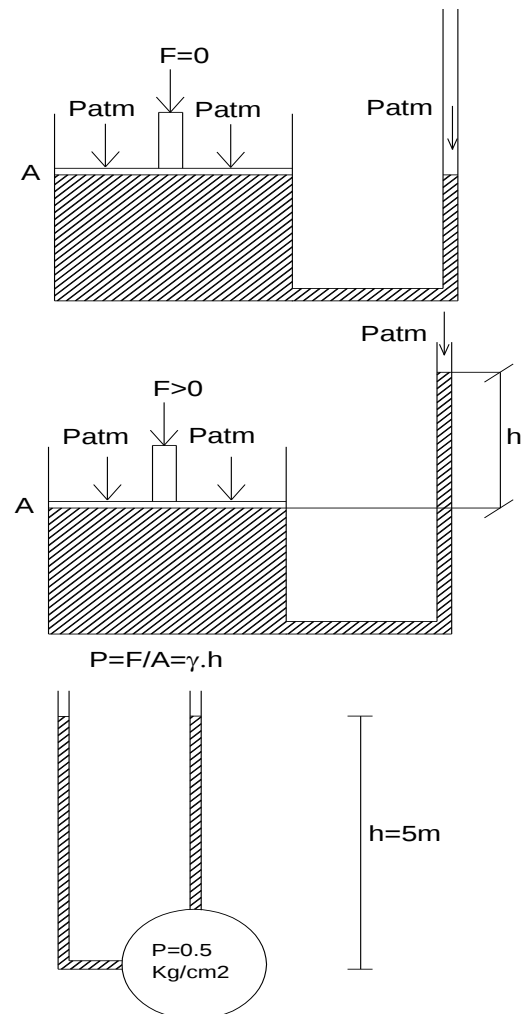
Ejemplo de Presión atmosférica

¿Qué pasa cuando intentamos extraer agua de un pozo con 12 m de profundidad por medio de una bomba centrífuga?

El primero que lo intento, observó que el agua solo llegaba hasta una altura de 10m dentro del tubo. ¿Por qué?

Tomando la presión atmosférica igual a 10.000 Kg/m^2 y el peso específico γ igual a 1.000 Kg/m^3 tenemos:

$$h = \frac{P}{\gamma} \rightarrow h = \frac{10000 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} = 10 \text{ m}$$



3. Hidrodinámica



En esta parte del curso se estudiarán los fluidos en movimiento.

En primera instancia se verán propiedades de los fluidos perfectos (sin viscosidad) y luego se extenderá el estudio a los fluidos reales con viscosidad.

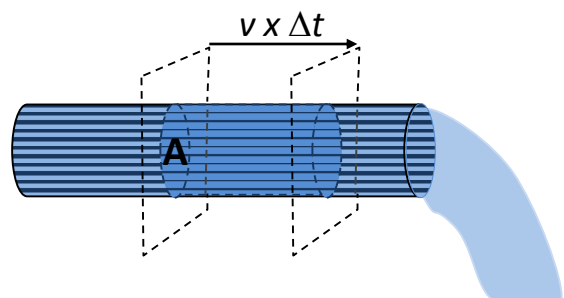
Los temas que vamos a desarrollar son:

Caudal de una corriente líquida
Energía de una corriente líquida
Ley de Bernoulli
Pérdida de carga

Caudal de una corriente líquida

Como se expresó anteriormente (ver página 9), se define caudal de una corriente líquida Q , a la cantidad de volumen V que atraviesa una sección S , en un intervalo de tiempo Δt . ver (f: 1.6)

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$



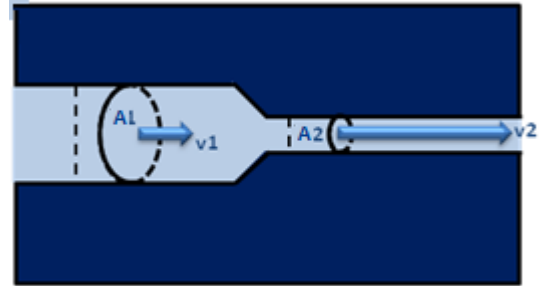
La velocidad media con que se mueve el fluido que atraviesa la sección A, se define como:

$$v = \frac{Q}{A}$$

RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA SECCIÓN

Si obturamos la boca de una canilla, observaremos que la velocidad de salida del líquido aumenta, aunque la cantidad total del líquido que sale en un tiempo dado será la misma. Este sencillo ejemplo nos enseña que cuanto menor es la sección del conducto, mayor es la velocidad del líquido.

La ley de conservación de la masa establece que en un flujo estacionario toda la masa que entra por un lado de un recinto debe salir por otro, lo que implica que la velocidad debe ser mayor en la parte más estrecha del tubo:



$$Q = A v \rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

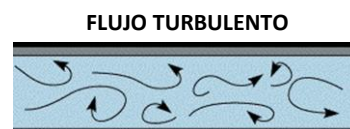
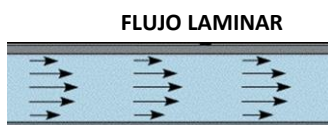
Flujo en régimen permanente

Significa que en todo punto del medio fluido en movimiento, la velocidad del medio no cambia en el tiempo; esto no quiere decir que carezca de aceleración; cada partícula puede acelerarse al pasar de un punto a otro, sin embargo, en una ubicación fija, la velocidad del flujo que pasa por la misma se mantiene en todo momento iguales.



Un ejemplo es el chorro de una fuente, la velocidad es máxima cuando sale de la boquilla y mínima cuando llega a la máxima altura, pero en un mismo punto del chorro, la velocidad se mantiene.

Tipos de movimiento de un flujo



Líneas de corriente: Trayectoria descriptas por las partículas del líquido en movimiento.

Flujo Laminar: las capas vecinas de fluido se deslizan entre sí suavemente en forma ordenada, siguiendo líneas de corriente que no se mezclan y en las que la velocidad, está totalmente determinada.

Flujo turbulento: existen remolinos o vórtices, por lo que las líneas de corriente se entrecruzan y la velocidad de cada partícula de fluido no puede ser predicha y de hecho es indeterminada. Esto se produce cuando la velocidad del líquido es muy elevada.

La transición entre flujo laminar a flujo turbulento, fue descubierta por el Físico irlandés en 1883, Osborne Reynolds, esta transición depende de un número que no tiene unidades que se llama número de Reynolds.

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

Este número se calcula

$$Re = \rho V D / \eta$$

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

V = Velocidad de flujo (m^3/s)

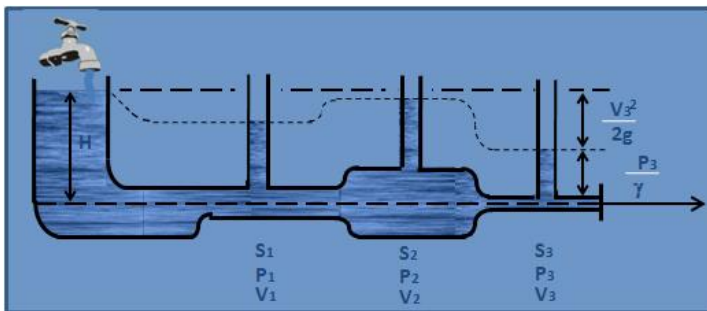
D = Dimensión lineal característica de recorrido del fluido que para el caso del conducto circular representa el diámetro.

η = viscosidad dinámica del fluido ($Pa.s$)

Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli se basa en las Teorías de la Conservación de la Mecánica que considera que si sobre un cuerpo en reposo o movimiento, las fuerzas actuantes son conservativas, la energía se conserva.

En el caso de los fluidos incomprensibles, éstos están sometidos a las fuerzas que realizan las paredes del recipiente que los contiene (fuerzas debido a la presión manométrica), a las fuerzas debidas a la viscosidad, a fuerzas realizadas por sistemas de bombeo y fuerzas gravitacionales. Todas las fuerzas realizan trabajo, pero el trabajo que realizan las fuerzas conservativas no altera la energía del fluido.



Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) con un flujo en régimen permanente por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

La energía de un fluido consta de tres componentes:

- **cinética:** es la energía debida a la velocidad que posea el fluido;
- **potencial o gravitacional:** es la energía debido a la altitud que un fluido posea;
- **energía de presión:** es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

De la conservación de la energía se deduce la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{v^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

f: 3.1

v = velocidad del fluido en la sección considerada.

ρ = densidad del fluido.

P = presión.

g = aceleración gravitatoria o campo gravitatorio.

$z =$ altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

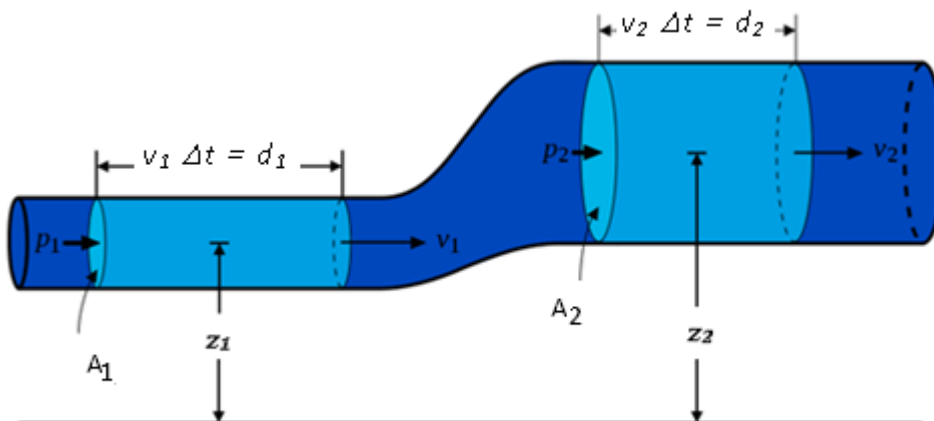
Aplicando la ecuación a un flujo de agua en una tubería:

$$\overbrace{\frac{v^2}{2g}}^{\text{Cabezal de velocidad}} + \underbrace{\frac{P}{\gamma}}_{\text{Carga piezométrica}} + \underbrace{z}_{\text{Carga hidráulica}} = H$$

f: 3.2

Para aplicar esta ecuación se deben hacer las siguientes consideraciones:

- Viscosidad = 0.
- Caudal constante.
- Flujo incompresible donde el peso específico γ es constante.
- La ecuación se aplica en una línea de corriente o en un flujo laminar.



Analizando la figura tenemos que en la zona 1 la velocidad es mayor que en la zona 2 al tener menor área de sección, por lo que la carga piezométrica ($P_1/\gamma + z_1$) es menor que en la zona 2.

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

En el apéndice 3 hay un ejercicio resuelto.

Para el caso nuestro que el flujo es agua, podemos expresar la presión en **m.c.a.** (metro columna de agua) la ecuación quedaría:

$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + P_2 + z_2$$

Como el producto que fluye por nuestras tuberías es el agua, a partir de aquí, para mayor sencillez, vamos a trabajar con la presión expresada en m.c.a. (metro columna de agua).

Tubo Venturi

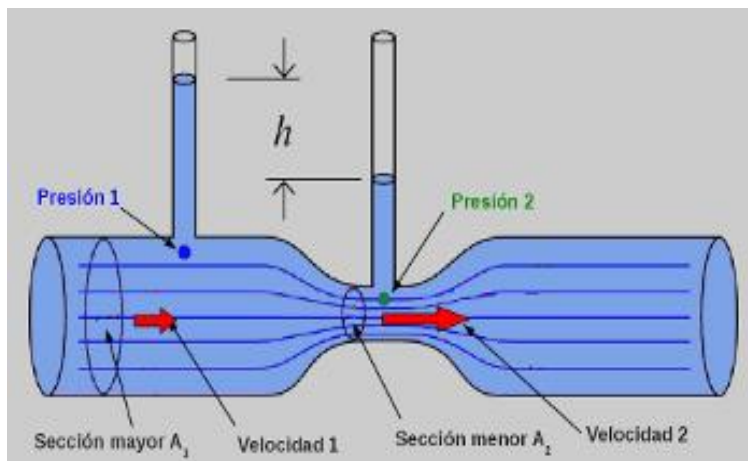
Una aplicación de la ecuación de Bernoulli es la del Venturi, instrumento que permite medir caudal. Consiste en un tubo con un estrechamiento. La sección antes del estrechamiento la podemos llamar A_1 y en el ensanchamiento la llamamos A_2 ; siendo $A_1 > A_2$. En cada parte del tubo hay un manómetro de manera que se pueden medir las presiones p_1 y p_2 .

Al pasar el agua de la sección A_1 a la sección A_2 , aumenta la velocidad.

VENTURI DEL RECALQUE DE LA 4^{ta} LINEA



Para encontrar una expresión que nos permita determinar el caudal debemos tener en cuenta la ley de conservación de la masa establece que en un flujo estacionario, toda la masa que entra por un lado de un recinto debe salir por otro, lo que implica que la velocidad debe ser mayor en la parte más estrecha del tubo:



$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Y como la sección A_1 es más grande que la sección A_2 las velocidades v_2 es mayor que la velocidad v_1 .

Para encontrar la expresión del caudal, aplicando Bernoulli, vamos a suponer un flujo laminar y que la **pérdida de carga** que provoca el

estrechamiento es despreciable, por lo que nos queda:

$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + P_2 + z_2 \quad \text{Presión expresada en m.c.a.}$$

La presión se Como la cota geométrica es la misma $z_1 = z_2$

$$P_1 + \frac{v_1^2}{2g} = P_2 + \frac{v_2^2}{2g} \rightarrow P_1 - P_2 = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

Reordenando términos

$$P_1 - P_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \rightarrow v_2^2 - v_1^2 = 2g(P_1 - P_2)$$

Aplicando la continuidad de la masa:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \rightarrow v_2^2 = v_1^2 \frac{A_1^2}{A_2^2}$$

Sustituyendo:

$$v_2^2 - v_1^2 = v_1^2 \frac{A_1^2}{A_2^2} - v_1^2 \rightarrow \text{asociando} \rightarrow v_2^2 - v_1^2 = v_1^2 \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right) = \frac{v_1^2}{A_2^2} (A_1^2 - A_2^2)$$

$$\frac{v_1^2}{A_2^2} (A_1^2 - A_2^2) = 2g(P_1 - P_2)$$

$$v_1^2 = \frac{A_2^2 2g (p_1 - p_2)}{(A_1^2 - A_2^2)} \rightarrow v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2g (p_1 - p_2)}{(A_1^2 - A_2^2)}}$$

$$Q = A_1 v_1 = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2g (p_1 - p_2)}{(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Como las dos áreas de sección no cambian, las únicas variables son las presiones en el Venturi por lo que podemos simplificar la expresión a:

$$Q = K \sqrt{(p_1 - p_2)} \quad \text{Siendo } K = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2g}{(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Con la presión se expresada en *m.c.a.*

Ejemplo Venturi de la 4ta Línea

Si queremos calcular la constante k_H en el Venturi de la 4ta Línea, tenemos los siguientes datos: la tubería de diámetro mayor $D = 1200$ mm y el estrechamiento un diámetro $d = 629$ mm.

Para el diámetro de 1200 mm el área de sección es $A_1 = 1,13\text{m}^2$

Para el diámetro de 629 mm el área de sección es $A_2 = 0,311\text{m}^2$

Sustituyendo en: $K_H = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2g}{(A_1^2 - A_2^2)}}$

$$\text{Obtenemos: } k_H = 1,13 \text{ m}^2 \times 0,311 \text{ m}^2 \times \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(1,13^2 - 0,311^2) \text{ m}^4}} = 1,43 \frac{\sqrt{\text{m}^5}}{\text{s}} = 1,43 \text{ m}^{\frac{5}{2}}/\text{s}$$

La ecuación para obtener el caudal en el recalque de la cuarta línea nos quedaría:

$$Q = 1,43 \sqrt{\Delta h} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \Delta h, \text{ es la diferencia entre la presión 1 y 2 expresada en m.c.a.}$$

Supongamos que $\Delta h = 1,20$ m; el caudal que atraviesa el Venturi es:

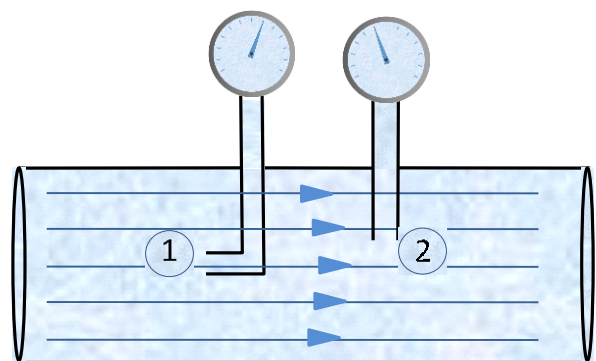
$$Q = 1,43 \sqrt{1,20} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,57 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5650 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tubo Pitot

El tubo Pitot consiste en un tubo en forma de L (tubo 1 de la figura) que se coloca en dirección de la corriente y la boca de frente a la velocidad, la velocidad en la boca de ese tubo es $v_1 = 0$.

Si colocamos un segundo tubo recto y colocamos manómetros a cada tubo, se puede observar que la presión en el tubo 1 es mayor que la del tubo 2

Aplicando Bernoulli (expresando la presión en m.c.a.)



$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + P_2 + z_2$$

Como $v_1 = 0$ y las cotas son iguales: $z_1 = z_2$

$$P_1 = \frac{v_2^2}{2g} + P_2 \rightarrow P_1 - P_2 = \frac{v_2^2}{2g}$$

Podemos calcular la velocidad del flujo del líquido despejando:

$$v = \sqrt{2g (P_1 - P_2)}$$

Conociendo la sección podemos obtener el caudal que circula.

La presión que mide el tubo 1 se le llama **Presión Hidrodinámica** y el tubo 2 mide la **presión manométrica o hidrostática**.

Ver apéndice 3

Flujos viscosos: (pérdida de carga)

Hasta el momento no hemos considerado la viscosidad de los fluidos, pero en la realidad cuando fluye un líquido a través de una tubería, sufre fuerzas de fricción entre las distintas capas líquidas y con las paredes de la tubería, estas fuerzas de fricción hacen que las velocidades del líquido no sean iguales en todos los puntos y la energía no se conserva.

$$\frac{v^2}{2g} + P + z = \text{no constante}$$

Presión expresada en m.c.a.

Aplicando Bernoulli:

Por lo tanto tenemos en un punto de la red una carga hidráulica H_1

$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1 + z_1 = H_1$$

Y en otro punto posterior de la red tendremos una carga hidráulica H_2 .

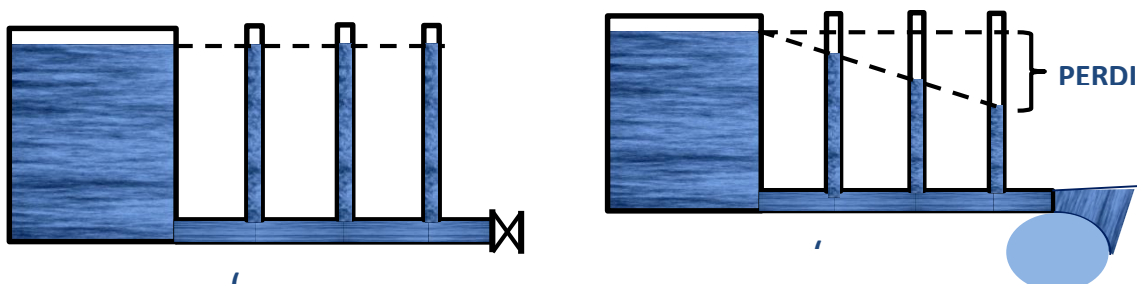
$$\frac{v_2^2}{2g} + P_2 + z_2 = H_2$$

La diferencia de carga hidráulica entre el punto 1 y 2, $H_2 - H_1 = \Delta H$ se le llama **pérdida de carga**.

$$H_2 - H_1 = \Delta h$$

Pérdida de Carga

Un ejemplo de pérdida de carga en la descarga de un tanque.



La pérdida de carga depende de:

- La viscosidad del líquido. Que depende inversamente de la temperatura, a mayor temperatura menor viscosidad. Por ejemplo cuando ponemos el aceite en la sartén a medida que se calienta se vuelve menos viscoso, más líquido.
- Material de la tubería. Ejemplo: tuberías de HF son mucho más rugosas que tuberías de FC, PVC o PEAD, por tanto en las tuberías de HF se pierde más carga.
- Diámetro de la tubería. Cuanto más chico sea el diámetro, mayor serán las pérdidas de carga.
- La velocidad. (o caudal) En flujo laminar, la pérdida de carga depende directamente de la velocidad, el flujo turbulento, la pérdida de carga es mucho mayor.
- Edad de la tubería. Fundamentalmente las tuberías de HF se incrustan con el pasaje del tiempo con el consecuente aumento de la rugosidad. Ej. Una tubería de HF de 4" puede perder un 50 % de capacidad de conducción de caudal luego de 40 años de servicio.
- Cambios de diámetro o dirección de la velocidad. Ejemplo: codos, tee, válvulas, reducciones.

Las pérdidas de cargas que encontramos en nuestras redes pueden ser de dos tipos.

Tipos de pérdidas de carga:

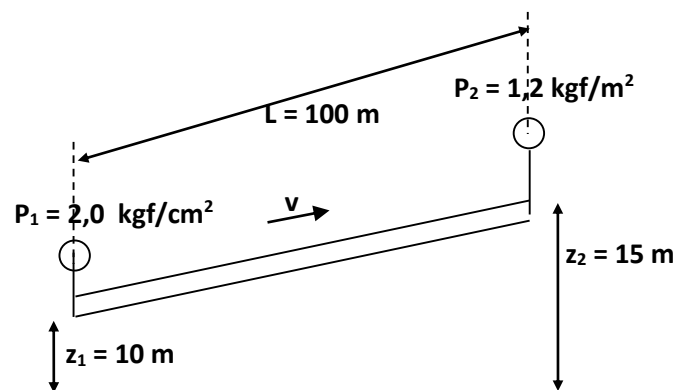
- **Distribuida**. Ocasionada por el movimiento del fluido a lo largo de un tramo de tubería. Ver tablas en apéndice ...
- **Localizada**. se debe a cualquier elemento o pieza especial que modifique la velocidad del fluido y aumente su turbulencia. Como se dijo anteriormente, se produce en codos, curvas, tee, válvulas, reducciones, juntas, etc.

Ver apéndice 4

En el caso de codo o curvas, depende del ángulo y del radio. En el caso de válvulas, depende del porcentaje de apertura.

Ejemplo: Supongamos una tubería de PVC de 110 mm de diámetro de sección y una longitud de 100 m que tiene una cota inicial de $z_1 = 10$ m y una cota final de $z_2 = 15$ m. El punto inicial tiene una presión manométrica de $P_1 = 2,0$ kgf/cm² y en el punto final una presión $P_2 = 1,2$ kgf/cm².

Si queremos calcular la pérdida de cargas entre los dos puntos Δh



$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1 + z_1 - \left(\frac{v_2^2}{2g} + P_2 + z_2 \right) = \Delta h$$

Pero como por la tubería circula un caudal determinado y las secciones son iguales, las velocidades van a ser iguales:

$$\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = 0$$

Las cargas hidráulicas en cada punto es igual a la carga piezométrica

$$\text{CARGA PIEZOMETRICA 2} - \text{CARGA PIEZOMÉTRICA 1} = \Delta h$$

$$P_2 + z_2 - (P_1 + z_1) = \Delta h$$

$$2,0 \text{ kgf/cm}^2 = 20 \text{ m.c.a.} = 20 \text{ m}$$

$$1,2 \text{ kgf/cm}^2 = 12 \text{ m.c.a.} = 12 \text{ m}$$

$$20 \text{ m} + 10 \text{ m} - (12 \text{ m} + 15 \text{ m}) = \Delta h$$

$$30 \text{ m} - 27 \text{ m} = 3,0 \text{ m}$$

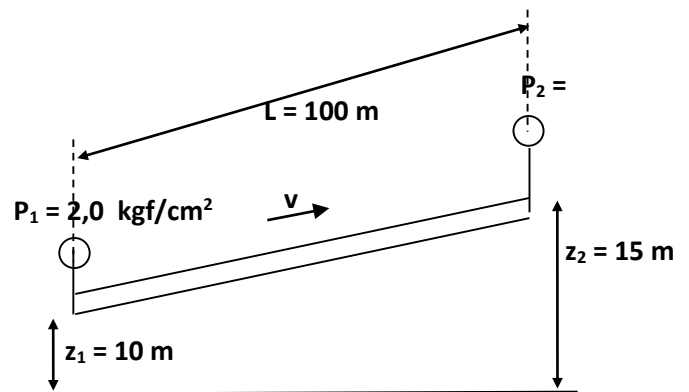
Ejercicio para discutir:

La figura representa una tubería de HF de 100 mm de diámetro interior (área = 80 cm² = 0.0080 m²) que transporta un caudal $Q = 0.012 \text{ m}^3/\text{s} = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

– Calcular la velocidad media 1.5 m/s.

– Sabiendo que para ese caudal la pérdida de carga distribuida vale 8,0 m.c.a., calcular la presión en el sección 2

7,0 m.c.a.



– Considere las siguientes afirmaciones:

- Si aumenta el consumo y por ende el caudal Q y se mantiene fijo la presión p_1 , la presión p_2 disminuye? V o F.
- Si se sustituye la tubería por otra de igual diámetro pero de PVC o PEAD, la presión p_2 disminuye? V o F.
- Si se sustituye la tubería por otra de HF pero de mayor diámetro, la presión p_2 aumenta? V o F.

4. Ejemplos de Aplicación

Válvulas hidráulicas de control.

Es una pieza especial que se intercala en una tubería para controlar la presión y/o el caudal de un sector cerrado. Existen válvulas reguladoras de caudal o de presión. Las más usadas en OSE son las de regulación de presión.

Estas válvulas nos sirven para regular la presión de una red de tal forma que si la presión aguas arriba aumenta, la presión de la red aguas abajo se mantiene en un valor para el cuál fue regulada. Esto permite evitar roturas en la red, que se puede producir cuando el consumo se reduce al mínimo (por lo general en la noche) y con ello la pérdida de carga de la red, generando un aumento en la presión.

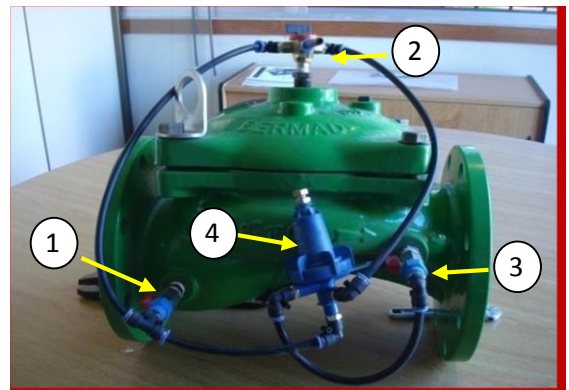
Las válvulas reguladoras generan una pérdida de carga localizada en forma intencional, mantiene una presión estable en la salida que se regula de acuerdo a la consigna de trabajo.

Componentes de una válvula reguladora.

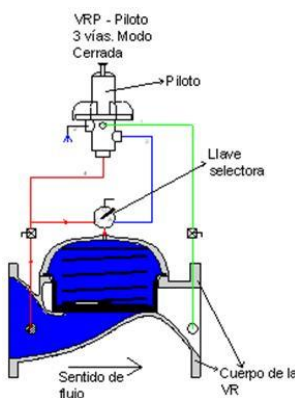
Lo que vemos en la imagen es una válvula reguladora.

Los puntos que se encuentran destacados son:

1. Toma aguas arriba o toma de alta.
2. Llave selectora.
3. Toma aguas abajo o toma de baja.
4. Piloto tres vías.



Funcionamiento de una válvula reguladora.

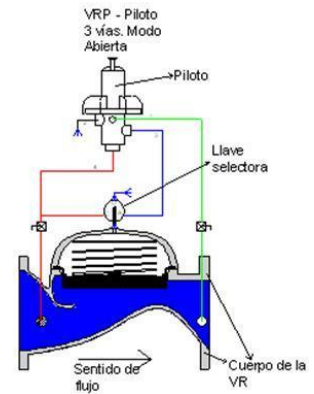


En el esquema de la figura, donde se muestra la composición de la válvula, vemos que en la parte superior hay una cámara, con un muelle (resorte) que presiona un diafragma que regula el pasaje de agua de la válvula. Ésta cámara está llena de agua.

El diafragma es el que abre o cierra la válvula dependiendo de la presión en el interior de la cámara y la presión de ingreso.

Cuando la presión de la cámara es igual a la de la red, la válvula estará cerrada, para eso debemos poner la **llave selectora en la posición cerrada**. El agua fluye de la toma de alta e ingresa a la cámara superior de la válvula hasta igualar la presión. Como las presiones son iguales, la fuerza elástica del muelle, cierra la válvula.

Si ponemos la llave selectora en modo abierta, la presión en el interior de la cámara, se reduce hasta igualar a la presión atmosférica y la presión de la red vence la fuerza elástica del muelle y abre la válvula.

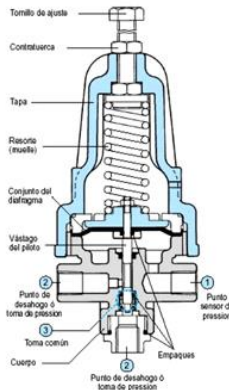
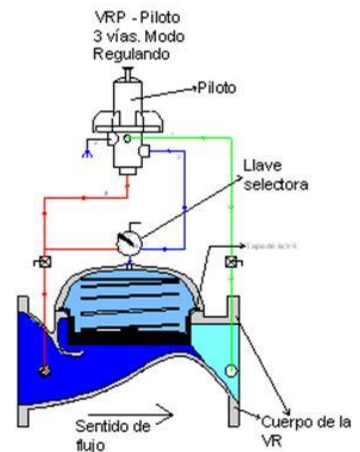


En modo regulado

Al poner la llave selectora en modo automático (regulado), la presión de la cámara, pasa a estar comandada por el piloto de tres vías, de acuerdo a la consigna de trabajo, para la cual fue regulada.

En tanto, en el piloto de tres vías, es regulado por medio del tornillo regulador.

Cuando la presión de salida de la válvula sube hasta ser mayor que la consigna de trabajo, el piloto inyecta agua en la cámara de manera que la presión en su interior suba para que ésta estrangule la válvula hasta que la presión de salida esté de acuerdo con la



consigna de trabajo.

Ejemplo de aplicación de válvula reguladora

Ejemplo 1.

La figura representa el esquema de una válvula reguladora y un sector regulado, donde tenemos los siguientes datos.

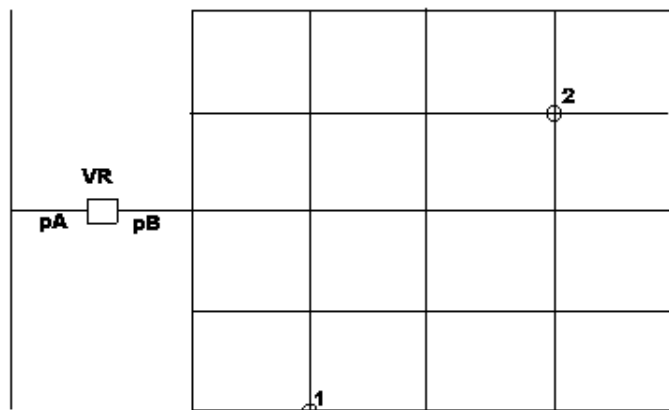
$Z_{VR} = 20 \text{ m}$ (cota geométrica de la válvula reguladora).

$Z_1 = 15 \text{ m}$ (cota geométrica del punto más bajo del sector).

$Z_2 = 30 \text{ m}$ (cota geométrica del punto más alto del sector).

$p_A = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ (presión de alta o aguas arriba de la reguladora).

Como se dijo previamente, la función de la Válvula Reguladora (VR) es dejar fijo el valor de la presión aguas abajo



(p_B) para proteger la tubería, pero cuidando que en las zonas altas se mantenga una presión adecuada.

Para calcular la presión de consigna (p_B) se deben considerar los dos aspectos anteriores, es decir, que no se produzcan roturas de la tubería en la noche y que la presión sea adecuada durante el día.

La pérdida de carga entre B y 2 se estima que vale 10 m.c.a. para el día de mayor consumo, a la hora pico. Se pretende que la presión en **2** no sea menor a 1.0 kg/cm² ($p_2 > 10$ m.c.a.).

Aplicando la ley de Bernoulli entre el punto B y 2 resulta:

$$H_B - H_2 = \Delta h = (z_B + p_B) - (z_2 + p_2) \Rightarrow p_B = (z_2 - z_B) + p_2 + \Delta h > (30 \text{ m} - 20 \text{ m}) + 10 + 10 = 30 \text{ m.c.a.}$$

$$\Rightarrow p_B > 30 \text{ m.c.a.}$$

Ahora tenemos que asegurarnos de que en los puntos bajos no rompa la tubería por exceso de presión, para lo cual vamos a imponer que la presión en 1 no supere los 40 m.c.a. ($p_1 < 40$ m.c.a.).

Aplicando la Ley de Bernoulli entre B y 1 y asumiendo que la máxima presión se registra de noche cuando el consumo es casi nulo (OJO esto depende del sector, aunque es una condición conservadora), resulta:

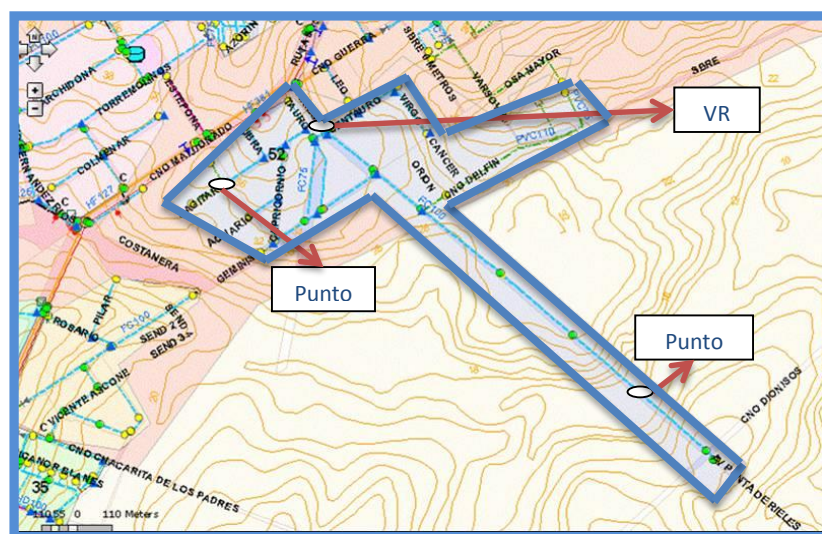
$$H_B - H_1 = \Delta h = (z_B + p_B) - (z_1 + p_1) \Rightarrow p_B = (z_1 - z_B) + p_1 < (-5 \text{ m}) + 40 \text{ m} = 35 \text{ m} \Rightarrow p_B < 35 \text{ m.c.a.}$$

$$30 \text{ m.c.a.} < p_B < 35 \text{ m.c.a.}$$

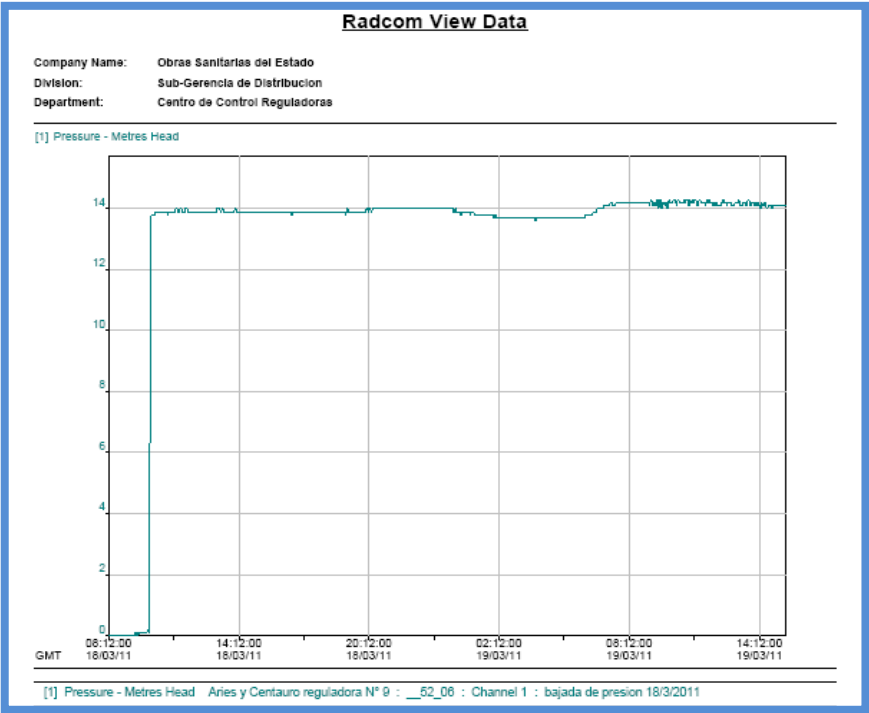
Con estos dos datos concluimos que se debe regular a una presión entre 30 m.c.a. y 35 m.c.a. .

Ejemplo 2

En este ejemplo vemos la zona regulada de Aries y Centauro.



<u>Válvula reguladora</u>		
N° zona regulada	9	
N° zona hidráulica	52	
Fecha	18/03/2011	
Dirección	Aries y Centauro	
Diámetro	4"	
Caraterística piloto	Plástica; 3 vías	
<u>Zona regulada</u>		
Materiales de tuberías:	Fibrocemento y PVC	
Diámetros:	4"	
Longitud de tubería (m):	1.730	
<u>Cotas (m)</u>		
Cota de válvula reguladora:	35	
Cota del punto crítico de la zona regulada	36	Av. Del Zodíaco y Sagitario
Cota menor de la zona regulada	16	Arroyo
<u>Presiones (mca)</u>		
Presión AA de la reguladora:	20	
Presión aa de la reguladora:	14	
<u>Piezométricas (mca)</u>		
Piezométrica AA de la reguladora:	55	
Piezométrica aa de la reguladora:	49	
Sin considerar pérdida de carga por consumo		
<u>Punto de menor cota de la zona</u>		
Presión máxima (mca):	33	
Estimación de la pérdida de carga al punto mas alejado		
<u>Punto mas alejado la zona reg.</u>		
Presión medida (mca):	10	
Piezométrica medida (mca):	46	
Pérdida de carga (mca)	3	



Bomba de Agua,

La bomba de agua es una máquina que transforma energía mecánica en energía hidráulica.

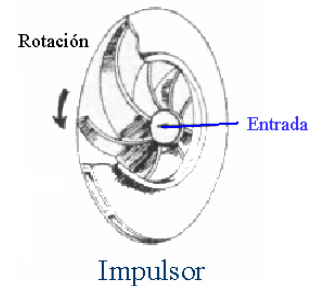
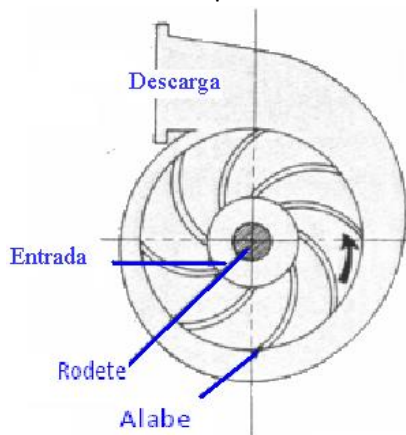
La energía mecánica puede ser suministrada generalmente por un motor (eléctrico, a explosión, etc.). Cuando la energía la suministra un motor eléctrico, se llama electrobomba.

La bomba es el mecanismo que al ser accionado, aspira un fluido al producir vacío en su succión y luego lo impulsa con cierta presión hacia una dirección determinada.

LAS BOMBAS ENTREGAN ENERGÍA O CARGA HIDRÁULICA AL FLUIDO.

Existen diferentes tipos de bombas (centrífugas, de desplazamiento

positivo), pero en este taller vamos a ver las bombas centrífugas que son las que más comúnmente se emplean.



Su principio de funcionamiento es la aceleración del fluido a través de la fuerza centrífuga generada por la rotación del rotor en el interior de una carcasa o voluta, transformándose luego en energía de presión a medida que se ensancha la voluta y disminuyen las velocidades.

Es muy importante tener en cuenta en este tipo de bomba el nivel de la succión ya que la bomba no debe trabajar en vacío.

Electro Bombas sumergibles

En las bombas sumergibles la bomba viene acoplada al motor, son bombas que por lo general, están diseñadas para funcionar sumergidas en agua o líquidos permanentemente, para refrigeración, lubricación de sellos y cojinetes.



En OSE se utilizan para: perforaciones, pozos de agua potable, bombas de lodos, bombas de achique, etc.

En las perforaciones se utilizan bombas con multirotor o multietapa.



Curvas características de bombas.

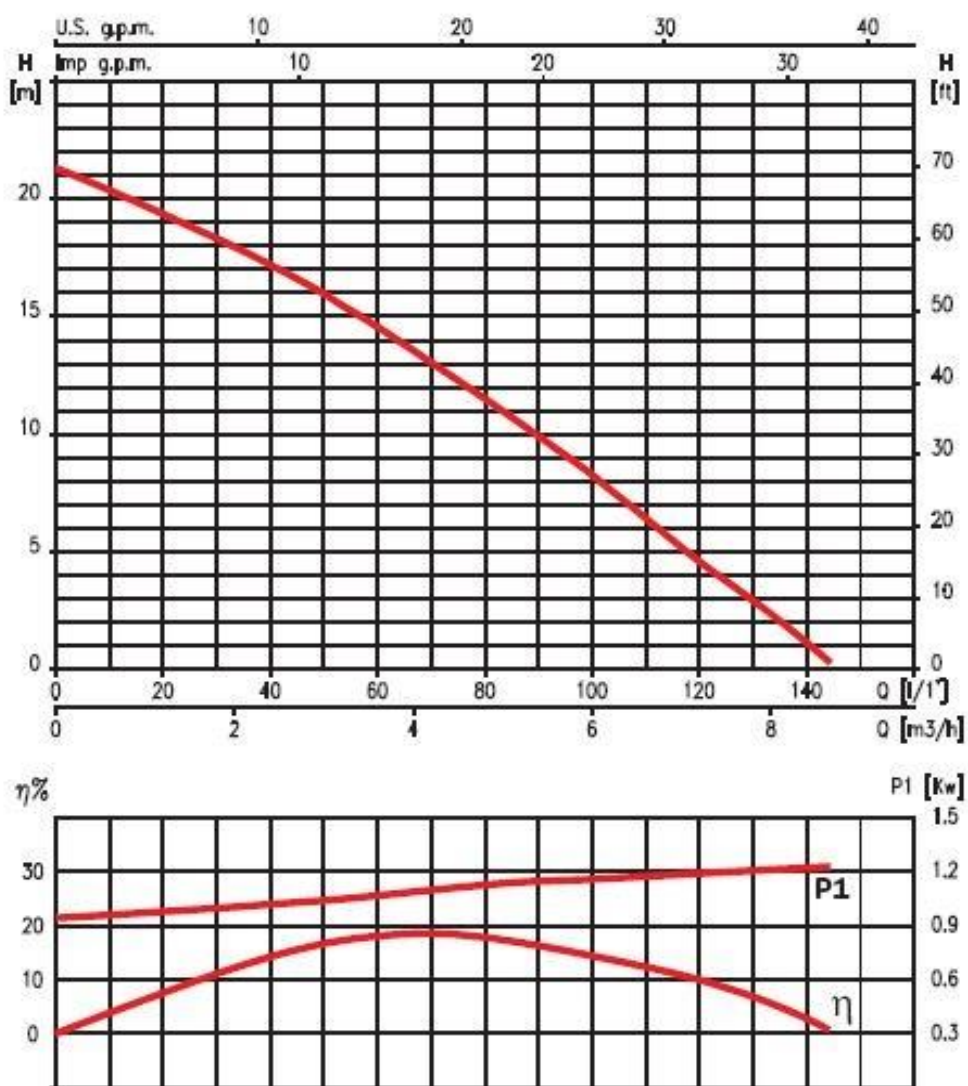
Las curvas características son gráficas que caracterizan el funcionamiento de cada bomba y nos permiten seleccionar la bomba apropiada para el régimen de trabajo que se requiere.

Las curvas características se obtienen experimentalmente en bancos de pruebas apropiados, donde se afora una bomba trabajando a distintas presiones para poder obtener la carga hidráulica H y midiendo la intensidad de corriente eléctrica se obtiene la potencia eléctrica suministrada. Con los datos obtenidos se construyen las gráficas, que representan las curvas características.

Ejemplos

	A	B	C	D	E	F	G	Kg
Vigicor 150M	395.5	471	147.5	150.7	56.5	191	1 $\frac{1}{4}$ "	15.5

Curvas de funcionamiento a 2900 r.p.m.
Performance curves at 2900 r.p.m.

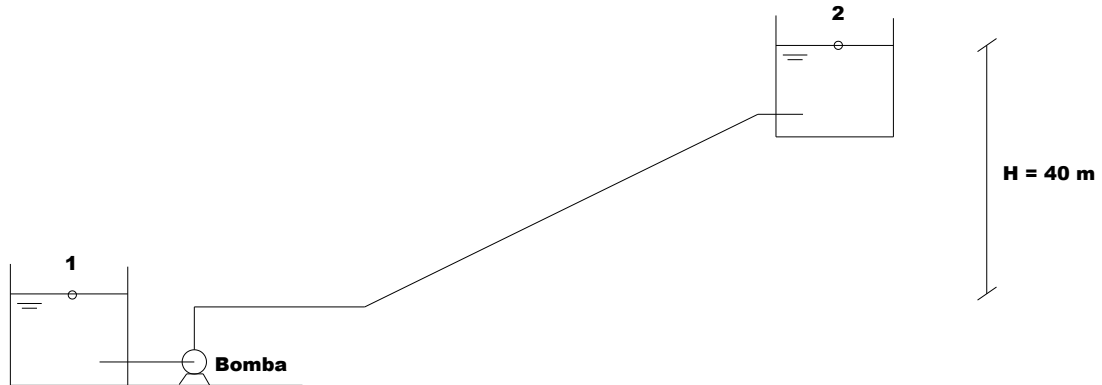


Ejemplos de aplicación.

Veamos dos ejemplos de aplicación en el caso de bombas centrífugas.

Ejemplo 1.

La bomba toma agua de un tanque.



Considerar que la pérdida de carga entre el punto (1) y (2) es de $\Delta h = 30 \text{ m.c.a.}$ Hallar la carga que debe entregar la bomba.

Para determinar la carga que debe entregar la bomba, se aplica la ley de Bernoulli entre los puntos (1) y (2), donde resulta:

$$H_1 + H_{\text{bomba}} - \Delta h = H_2 \quad (z_1 + p_1) + H_{\text{bomba}} - \Delta h = (z_2 + p_2)$$

$$H_{\text{bomba}} = (z_2 - z_1) + (p_2 - p_1) + \Delta h$$

Donde se debe considerar que:

- $(z_2 - z_1) = 40 \text{ m}$
- $p_2 = p_1 = 0 \text{ m.c.a.}$ (ya que ambos puntos están en la superficie libre de los tanques a presión atmosférica y como se vio anteriormente en la ley de Bernoulli se trabaja con presiones manométricas).

$$H_{\text{bomba}} = 40 \text{ m} + 30 \text{ m.c.a.}$$

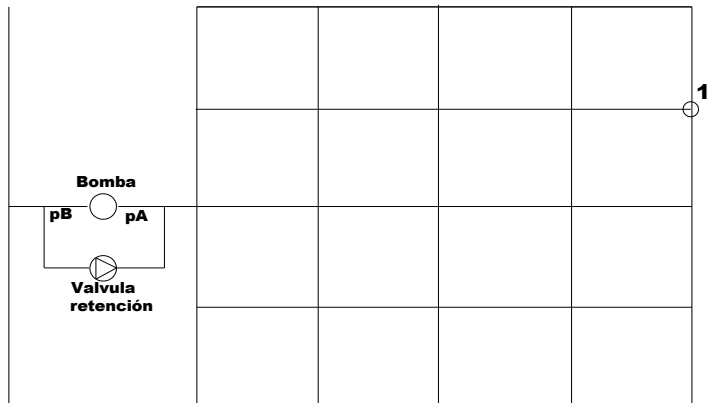
$$H_{\text{bomba}} = 70 \text{ m.c.a.} = 7.0 \text{ Kg/cm}^2.$$

Ejemplo 2.

Toma desde la red.

Considerar los datos:

- $p_B = 2.0 \text{ Kg/cm}^2$. Presión en la red o en la succión de la bomba.
- $H_{\text{bomba}} = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$. Carga hidráulica que entrega la bomba.
- $z_B = z_A = 40 \text{ m}$. Cota geométrica de la bomba.
- $z_1 = 55 \text{ m}$. Cota geométrica del punto más alto y más alejado de la zona bombeada.
- $\Delta h = 25 \text{ m}$. Pérdida de carga entre B y 1, estimada para el día de mayor consumo a la hora pico.
- Hallar a la presión que llega el agua en el punto 1 en el día de mayor consumo a la hora pico.



Se pretende tener en el día de mayor consumo a la hora pico, una presión en el punto 1 no menor a 10 m.c.a.

Hallar la carga mínima que debe entregar la bomba para garantizar la presión en 1.

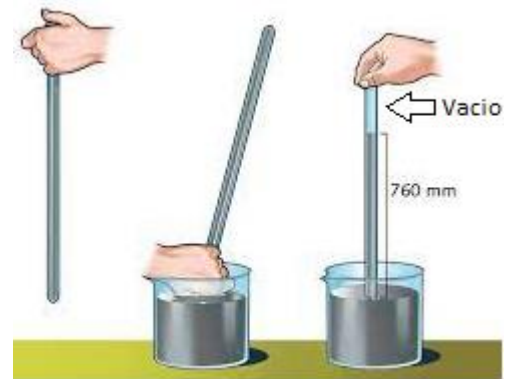
Respuesta: 45 m.c.a. = 4.5 Kg/cm²

5. Instrumentos de medida

Barómetro

El barómetro es un instrumento de medida que permite medir la presión atmosférica. Existen muchos tipos de Barómetro, el primero fue el construido por Torricelli, que consistía en un tubo de vidrio de un metro de longitud cerrado en un extremo, que se llenaba de mercurio y se sumergía en una cubeta llena de mercurio. El mercurio descendía hasta alcanzar una altura de 760 mm que corresponde a la presión atmosférica.

Existen en la actualidad barómetros de muchos tipos, incluso digitales.



Manómetro

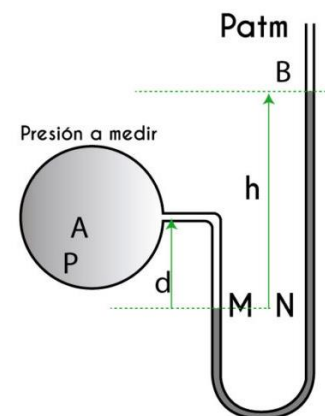
Los manómetros son instrumentos destinados a medir la presión manométrica de un fluido, recordemos que la presión manométrica es la que se registra por encima de la presión atmosférica.

Existen muchos tipos de manómetros, pero en esta oportunidad vamos a ver solo dos:

- Tubo en U.
- Tubo Bourdon.

Tubo en U.

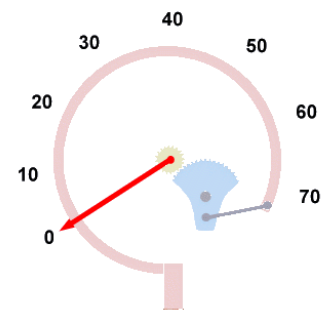
Está formado por un tubo de vidrio doblado en forma de U lleno parcialmente con un líquido de peso específico conocido, uno de sus extremos se conecta a la zona donde quiere medirse la presión y el otro se deja libre a la atmósfera. La presión ejercida en el lado de alta presión, produce el movimiento del líquido dentro del tubo, lo que se traduce en una diferencia de nivel marcado como h . Esta altura h dependerá de la presión y del peso específico del líquido en el tubo, como estos valores se conocen, puede elaborarse una escala graduada en el fondo del tubo U calibrada ya en unidades de presión.



Presión = $\gamma \times h$, siendo γ el peso específico de un líquido conocido, por ejemplo mercurio.

Tubo Bourdon

Estos manómetros tienen un tubo metálico elástico, aplanado y curvado de forma especial conocido como tubo de Bourdon tal y como se muestra en la figura. Este tubo tiende a enderezarse cuando en su interior actúa una presión, por lo que el extremo libre del tubo de Bourdon se desplaza y este desplazamiento mueve un juego de palancas y engranajes que lo transforman en el movimiento amplificado de una aguja que indica directamente la presión en la escala.



Algunos manómetros de tubo Bourdon están inmersos en glicerina que tiene la función de amortiguar los “golpes” de presión, protegiendo el sistema de medida.

Las medidas que vamos a encontrar en los manómetros son: Kg/cm², psi (lb/pul²), atm o bar, etc.



Medidores



En OSE tienen la función de medir el volumen de agua consumida por un usuario (micromedición).

Según el principio de funcionamiento se pueden distinguir dos tipos: Volumétricos y Velocimétricos

La principal ventaja de los medidores *volumétricos* es que tienen menos errores en la medición a caudales bajos, pero presentan como desventaja que partículas en suspensión en el agua pueden trancar la pieza móvil de la cámara de medición. En los medidores *velocimétricos* el pasaje del agua mueve una turbina, cuyas vueltas están relacionadas con el volumen de agua que pasa por el medidor. Son los más utilizados pero presentan como desventaja que son poco sensibles a bajos caudales.



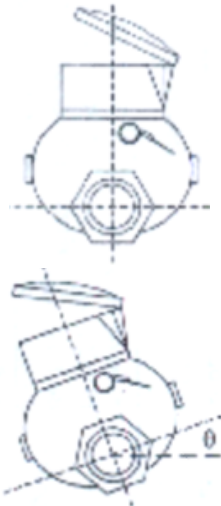
Los medidores tienen diferentes clases metrológicas:

- Clase A (menor precisión).
- Clase B (precisión media).
- Clase C (alta precisión).

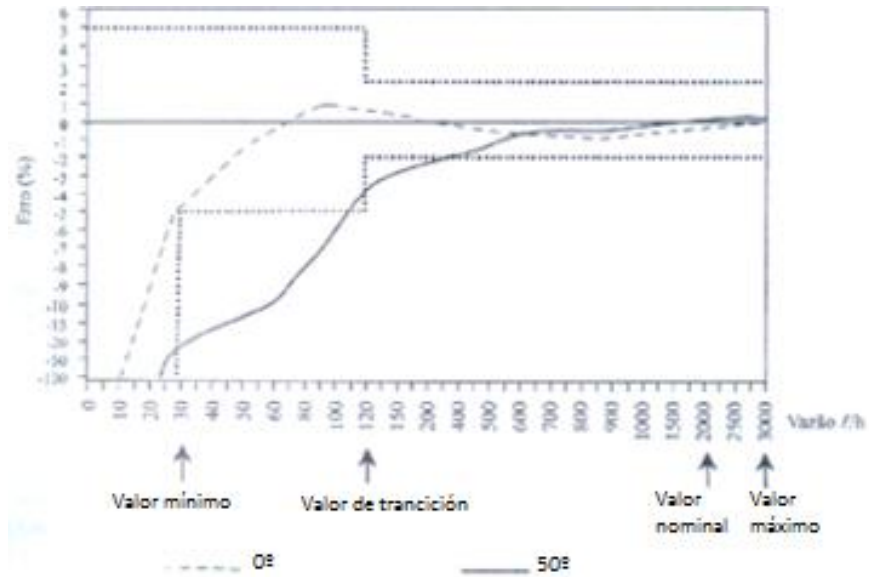
A modo de ejemplo, un medidor velocimétrico clase B comienza a girar su turbina a caudales de 5 L/h, en tanto un clase A comienza a girar a caudales entre 12 y 15 L/h.

Las principales fuentes de error en los medidores velocimétricos son:

- Envejecimiento del medidor. Dependiendo de la calidad del agua tienen una vida útil entre 5 y 10 años.
- Calidad del agua. Pueden llegar a trancar el mecanismo de los medidores.
- Inclinação del medidor. Es muy importante este aspecto porque influye mucho en la medición.



La figura siguiente muestra la curva típica de un medidor colocado en forma correcta comparado con el mismo colocado con una inclinación de 50°.



Ejemplo de cálculo:

Una familia de 5 personas tiene un consumo promedio por persona de 200 L/día, es decir que consumen 1000 L/día. El primer gráfico presenta los caudales horarios a lo largo del día.

Se consideran dos situaciones:

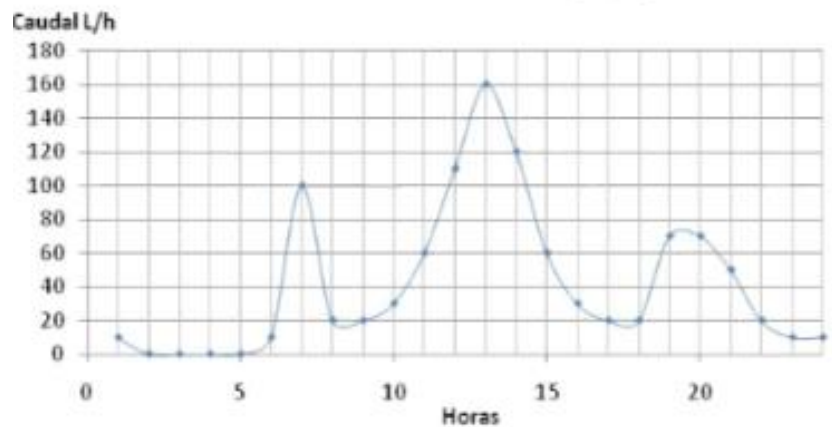
- El medidor es velocimétrico clase B con inclinación 0°.
- El medidor es velocimétrico clase B con inclinación 50°.

La curva de errores se presenta en la gráfica superior.

Considerando la curva de errores de cada medidor (el colocado correctamente y el inclinado a 50°), se puede calcular que el total real medido en cada caso es:

- 949 L. Para el caso del medidor colocado correctamente.
- 792 L. Para el caso del medidor inclinado 50°.

Consumo real diario (L/h)



Caudalímetro

Los caudalímetros tienen la función de medir el caudal en una tubería (macro medición).

Las unidades de medida más usuales son: m^3/h , m^3/s , L/s

Ya hemos visto algunos durante este taller como ser: Tubo Pitot y Venturi.

A esta lista le agregamos algunos más: Velocimétricos, Electromagnéticos y Ultrasónicos.



Tipo de Medidor	Descripción del principio de funcionamiento.	Representación esquemática	Instalación: Trecho recto requerido		Precisión	Operación/Aplicación
			aguas arriba	aguas abajo		
Tubo de Pitot	La velocidad está determinada por la diferencia de presión entre dos puntos de Pitot, uno en la dirección opuesta al flujo y el otro en la dirección del flujo.		10 a 20 D	5 a 10 D	$\pm 2\%$	Portátil, práctico, para tuberías de presión con $D \geq 100 \text{ mm}$.
Turbina o Caudalímetro	La velocidad se determina como una proporción del número de revoluciones de una hélice insertada en el flujo		10 D	5 D	$\pm 2\%$	Portátil, práctico, para tubos de presión con $D \geq 50 \text{ mm}$. Inserción de varilla y hélice modificada a velocidad, que debe corregirse (bloqueo)
Electromagnético	La ley de inducción electromagnética de Faraday gobierna la obtención de la velocidad de flujo. Cuando se aplica un campo magnético perpendicularmente a la dirección del flujo, se genera una fuerza electromotriz proporcional a la velocidad promedio del flujo.		5 D	0 D	$\pm 1,2\%$	No insertado en el flujo, no produce pérdida de carga. Mide caudales en diámetros grandes con buena precisión. Suele ser más caro que otros medidores. Para toda la gama de diámetros.
Ultrasónico	La velocidad se calcula mediante pulsos ultrasónicos en el flujo de agua y los tiempos de tránsito correspondientes. Con estos valores, en comparación con el tiempo en el líquido estacionario, se determina la velocidad de flujo promedio.		10 D	5 D	$\pm 2\%$	Sin insertar, se puede instalar fácilmente sin interrumpir el flujo. para toda la gama de diámetros.
Venturi	La determinación del flujo se realiza midiendo el diferencial de presión causado por el cambio en la sección de flujo (venturi) o por un obstáculo (placa de orificio, boquilla)		20 D	5 D	$\pm 3\%$	Baja caída de presión, bajo mantenimiento (sin partes móviles) y larga vida útil. Los calibres de mayor diámetro son caros y costosos de instalar.
Hidrómetro (velocimétrico)	El principio de los velocímetros consiste en obtener el volumen de agua que atraviesa una sección, proporcionalmente al número de revoluciones de una turbina.		5 D	2 D	$\pm 2\%$	Es el más utilizado para medir el consumo en el sector inmobiliario. Amplia gama de tamaños. Errores sensibles para caudales bajos. Requiere mantenimiento periódico (de 3 a 5 años).

Apéndices

Apéndice 1: Presión, tablas de conversiones, conversiones.

Apéndice 2: Cálculos de volúmenes y superficie, formulas. Aforos.

Apéndice 3: Ejemplo aplicando Bernoulli a un flujo de agua en una tubería:

Apéndice 4: Tablas de Perdidas de Carga en distintas tuberías y canales.

Apéndice 1 – Unidades de Presión

	Pa(N/m ²)	baria (din/cm ²)	kgf/cm ²	atm	torr (mm Hg)	bar	psi (lb/plg ²)	m.c.a
1 N/m ²	1,00	10	1,02 x 10 ⁻⁵	9,87 x 10 ⁻⁶	7,50 x 10 ⁻³	1,00 x 10 ⁻⁵	1,45 x 10 ⁻⁴	1,02 x 10 ⁻⁴
1 din/cm ²	0,10	1,00	1,02 x 10 ⁻⁶	9,87 x 10 ⁻⁷	7,50 x 10 ⁻⁴	1,00 x 10 ⁻⁶	1,45 x 10 ⁻⁵	1,02 x 10 ⁻⁵
1 kgf/cm ²	9,80 x 10 ⁴	980392	1,00	0,96781	735,48	0,980	14,22	10,00
1 atm	1,01 x 10 ⁵	1013000	1,03326	1,00	760	1,01	14,69	10,33
1 torr	133,30	1333	0,00136	0,00132	1,00	1,33 x 10 ⁻³	0,01933	0,01359
1 bar	1,00 x 10 ⁵	1,00 x 10 ⁶	1,02	0,98717	750,19	1,00	14,50	10,20
1 psi	6895	68950	0,07030	0,06807	51,73	6,90 x 10 ⁻²	1,00	0,70309
1 m.c.a	9807	98067	0,10003	0,09681	73,57	9,81 x 10 ⁻²	1,42	1,00

Conversiones de unidades:

Todas las unidades mantienen una relación lineal entre ellas, por lo cual para convertir una presión expresada en una unidad a otra unidad, podemos hacer una regla de tres.

Ejemplo: Tengo una presión $P = 2,5 \text{ atm}$ y quiero expresarla en m.c.a. . Para convertirla aplicamos la siguiente regla de tres:

$$\begin{array}{lcl} 1,0 \text{ atm} & \text{———} & 10,33 \text{ m.c.a.} \\ 2,5 \text{ atm} & \text{———} & x \text{ m.c.a.} \end{array}$$

Para resolver hacemos:

$$x \text{ m.c.a.} = \frac{10,33 \text{ m.c.a.} \times 2,5 \text{ atm}}{1,0 \text{ atm}} = 25,8 \text{ m.c.a.}$$

Lo que hicimos para convertir fue multiplicar la cantidad de atm por cuánto vale una atm en m.c.a..

2,5 atm para convertirla a m.c.a. la multiplicamos por el equivalente.

$$2,5 \text{ atm} \times 10,33 \text{ m.c.a./atm} = 25,8 \text{ m.c.a.}$$

Ejercicios:

Convertir a m.c.a.

Convertir a kgf/cm²

Convertir a atm

a) 4,5 kgf/cm² =

e) 80 m.c.a. =

i) 42 kgf/cm² =

b) 36 psi =

f) 4,0 x 10⁵ Pa =

j) 250 torr =

c) 50 Pa =

g) 5,0 atm =

k) 38 psi =

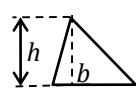
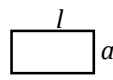
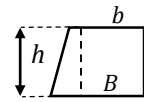
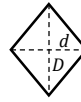
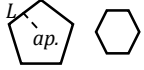
d) 52 bar =

h) 36 psi =

l) 2,0 atm =

Apéndice 2 – Áreas, Volúmenes y Aforos

Cálculos de áreas de figuras geométricas.

Áreas de algunas figuras		
Nombre	Figura	Área
CÍRCULO		$A = \pi \times r^2 = \pi \times \frac{D^2}{4}$
TRIÁNGULO		$A = \frac{b \times h}{2}$
RECTÁNGULO		$A = l \times a$
TRAPECIO		$A = \frac{(B + b) \times h}{2}$
ROMBO		$A = \frac{D \times d}{2}$
POLÍGONO REGULAR		$A = \frac{per \times ap}{2} = \frac{N \times L \times ap}{2}$ <i>per = perímetro; N = cantidad de lados del polígono</i>

ap. → Apotema.
Per. → Perímetro.
h. → altura.

A. → área de la Superficie.
 $\pi = 3,14$

$ap, = \frac{L}{2tg\left(\frac{180}{N}\right)}$
 Calculo de la apotema
L : lado; *tg* : tangente; *N*: cantidad de lados

Ejemplos:

1 Queremos calcular el área de la superficie de un salón que tiene un ancho de 3,0 m y un largo de 5,5 m.

Para resolver usamos la fórmula que tenemos en el cuadro:

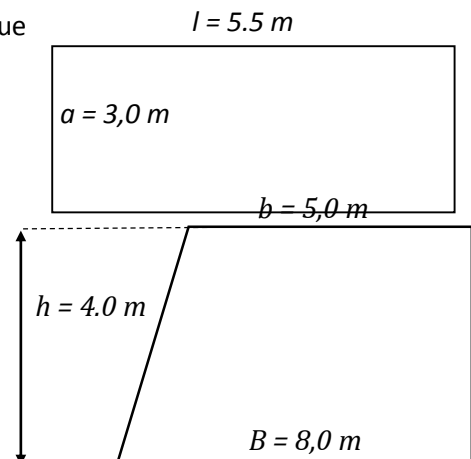
$$A = l \times a \rightarrow A = 5,5 m \times 3,0 m = 16,5 m^2$$

2. Si la superficie es trapezoidal que tiene los siguientes dimensiones:

Los dos lados paralelos son de $B = 8,0 m$ y $b = 5,0 m$ y la línea más corta que unen los lados es de $h = 4,0 m$.

$$A = \frac{(B+b) \times h}{2} \rightarrow A = \frac{(8,0 + 5,0) m \times 4,0 m}{2} = 26 m^2$$

3. Supongamos que tenemos un tanque que tiene una base en forma de un polígono regular de ocho lados (octógono) y queremos calcular el área.

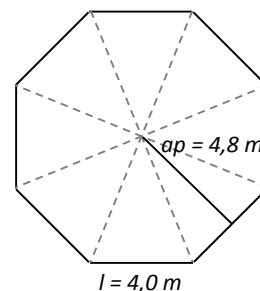


Sabiendo que cada lado vale 4,0 m.

Calculamos la apotema

$$ap. = \frac{4,0 \text{ m}}{2 \times \tan\left(\frac{180^\circ}{8 (\text{lad os})}\right)} = 4.8 \text{ m}$$

$$A = \frac{per \times ap}{2} = \frac{N \times L \times ap}{2} \quad A = \frac{8 \times 4,0 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}}{2} = 76.8 \text{ m}^2$$



Ejercicios de aplicación.

1. Calcula el área de círculo:

a) De 2,0 m de radio.

b) De 1200 mm de diámetro.

2. Calcula el área de un triángulo que tiene una base de 2,0 m y una altura de 3.0 m.

3. Calcula el área de un pentágono de 150 m de lado y una apotema de 103 m.

Áreas y volúmenes de algunos cuerpos.

Áreas y volúmenes de algunos cuerpos			
Nombre	Figura	Volumen	Área
Cubo		$V = l^3$	$A = 6 \times l^2$
Paralelepípedo rectángulo		$V = l \times a \times h$	$A = 2(l \times a + l \times h + a \times h)$
Pirámide		$V = \frac{\text{Sup. Base} \times h}{3}$	$A = \frac{\text{Per.} \times ap.}{2} + \text{Sup } b$
Cilindro		$V = \pi \times R^2 \times h$	$A = 2 \times \pi (R \times h + R^2)$
Cono		$V = \frac{\pi \times R^2 \times h}{3}$	$A = \pi (R \times \text{gen.} + R^2)$
Esfera		$V = \frac{4\pi \times R^3}{3}$	$A = 4 \times \pi \times R^2$
Tronco de Cono		$V = \frac{h\pi}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$	$A = \pi (R+r) \text{ gen}$

ap. → Apotema.

Per. → Perímetro.

h. → altura.

l. → lado

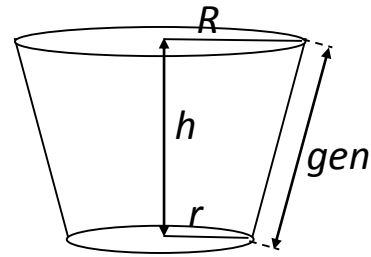
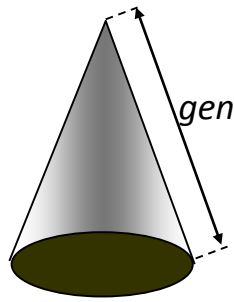
a. → ancho

V. → volumen

A. → área de la superficie

gen → generatriz

Generatriz



Para este curso, lo más usado serían los cálculos de volumen de figuras como: el cilindro, ya que las tuberías tienen forma cilíndrica, la de la esfera, el tronco de cono, el paralelepípedo rectángulo ya que hay muchos depósitos que tienen esa forma.

Para realizar los cálculos aplicamos las fórmulas, sustituyendo las letras por el valor que corresponda y trabajando siempre en el mismo sistema de unidades, si por ejemplo, para calcular un volumen, todas las medidas están expresadas en metro, obtenemos el volumen en m^3 (metros cúbicos); si trabajamos en dm obtenemos el volumen en litros (dm^3).

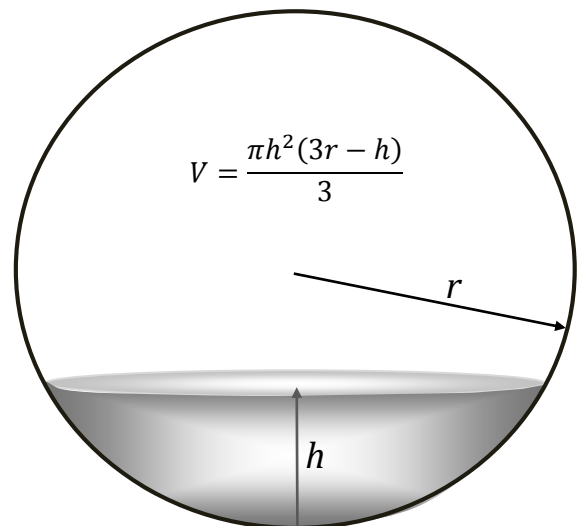
Tanque esférico

A modo de curiosidad, si tenemos un tanque esférico y queremos calcular el volumen de agua que contiene, podemos usar.

A modo de ejemplo, si tenemos un tanque esférico de 2 metros de diámetro y el agua tiene una altura de 0,50 m. El volumen de agua que contiene es:

El radio r es: $r = \frac{2,0\text{ m}}{2} = 1,0\text{ m}$

$$V = \frac{\pi \times (0,50\text{ m})^2 \times (3 \times 1,0\text{ m} - 0,50\text{ m})}{3} = 0,654\text{ m}^3$$



El tanque tiene $0,654\text{ m}^3$ de agua que equivalen a 654 l.

Ejercicios:

1. Tenemos un depósito de agua de forma rectangular que tiene una base de 20 m de ancho por 30 m de largo y una altura de 12 m.
 - a) Calcula el volumen del depósito.
 - b) Si el depósito contiene 6:000.000 de litros. ¿Cuánto vale la altura de agua, en el tanque?
2. La tubería de la cuarta línea de bombeo, tiene un diámetro de 1200 mm, ¿cuál es el volumen de agua que contiene en 100 m de tubería?

3. Un balde tiene una base de diámetro 20 cm, una altura de 35 cm y un diámetro superior de 35 cm.
 a) Calcula su capacidad total y exprésela en litros.
 b) ¿Qué porcentaje del volumen total, son 15 litros de agua?
 c) ¿Cuánto vale la altura de agua?
4. Un tanque de abastecimiento tiene forma esférica, con un diámetro de 3,0 m.
 Calcula su capacidad total y exprésela en litros.
 Si el tanque contiene agua hasta una altura de 2.0 m. ¿Cuánta agua contiene?
5. Un tanque de combustible de forma cilíndrica, tiene una capacidad de 200 l. Si el diámetro es de 80 cm.
 ¿Cuánto vale la altura?

Aforos:

Los aforos nos permiten determinar caudales, tanto para el estudio de una bomba de agua, para determinar la velocidad de vaciamiento de un tanque.

Para aforar una bomba de agua, lo más conveniente es en un depósito de paredes verticales, de manera de poder obtener el volumen con facilidad.

El caudal es el cociente entre el cambio de volumen de agua o cualquier líquido que se transporta y el tiempo que tarda.

Las unidades más usadas, son m^3/h , l/s , m^3/s .

Supongamos que queremos aforar una bomba de agua:

Ejemplo 1.

Contando con un cronómetro y un tanque de paredes verticales; con una superficie de base de $S_B = 1,95 \text{ m}^2$. Encendemos la electrobomba y cuando alcance las condiciones de trabajo, se comienza a verter el agua de la bomba en el tanque, marcando la altura de líquido inicial, se enciende el cronómetro y al cabo de un tiempo, se deja de verter el agua en el tanque determinando el tiempo transcurrido y la altura alcanzada por el líquido.

Para calcular el volumen de agua trasferida, calculamos la variación de altura del líquido en metros y lo multiplicamos por la superficie de la base.

Para calcular el caudal: dividimos el volumen obtenido en m^3 entre el tiempo estresado en horas.

Supongamos que obtuvimos los siguientes datos:

Altura inicial $h_i = 0,10 \text{ m}$; altura final $h_f = 1,05 \text{ m}$; en un tiempo de $\Delta t = 15,3 \text{ s}$.

El volumen trasferido es:

$$V = S_B \times \Delta h \quad S_B = 1,95 \text{ m}^2 \quad \Delta h = 1,05 \text{ m} - 0,10 \text{ m} = 0,95 \text{ m}$$

$$V = 1,95 m^2 \times 0,95 m = 1,85 m^3$$

Para expresar los segundos en horas aplicamos una regla de tres, sabiendo que una hora tiene 3600 segundos.

$$\begin{array}{l} 1,0 h \cdots 3600 s \\ x h \cdots 15,3 s \end{array} \quad x = \frac{15,3 s \times 1,0 h}{3600 s} = 0,00425 h$$

Caudal Q: $Q = \frac{V}{\Delta t} \quad Q = \frac{1,85 m^3}{0,00425 h} = 435 \frac{m^3}{h}$

Ejemplo 2:

Supongamos que queremos calcular el caudal de agua que sale de una canilla y contamos para ello con una botella cilíndrica de 10 cm de diámetro de base y el cronómetro del celular.

Al hacer el ensayo el agua subió una altura de $\Delta h = 10 cm$ en la botella en un tiempo de $\Delta t = 2,0 s$.

Vamos a expresar el caudal en litros por segundos:

Recordemos que: $1 l = 1 dm^3$ (un litro es igual a un decímetro cúbico).

Para calcular el volumen debemos llevar los datos a dm.

Área de la base:

$$S_B = \pi \times r^2 \quad S_B = \pi \times (0,50 dm)^2 = 0,79 dm^2$$

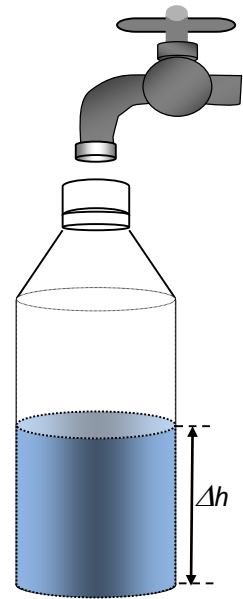
El radio es de 5,0 cm = 0,50 dm.

$$V = 0,79 dm^2 \times 1,0 dm = 0,79 dm^3 \cdots \rightarrow V = 0,79 l$$

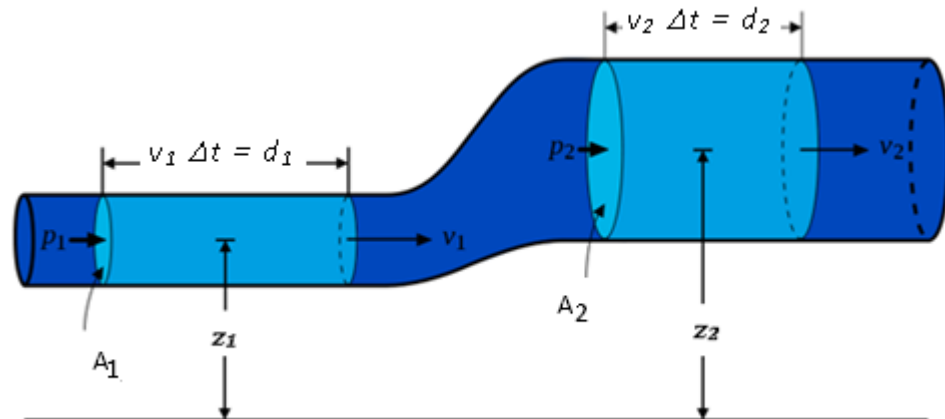
Calculamos el caudal:

$$Q = \frac{0,79 l}{2,0 s} = 0,395 l/s \quad \text{Expresado en hora} \quad Q = 0,395 l/s \times 3600 s/h = 1422 l/h$$

$$Q = 1422 l/h = 1,4 m^3/h$$



Apéndice 3: Ejemplo aplicando Bernoulli a un flujo de agua en una tubería:



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Supongamos que en la tubería de la figura fluye agua con un caudal de $Q = 10,0 \text{ m}^3/\text{h}$ queremos averiguar la presión en la sección 2 en la tubería de la figura y tenemos los siguientes datos:

Tubería 1:

$d_1 = 75 \text{ mm}$ (diámetro)
 $z_1 = 4,0 \text{ m}$ (cota)
 $P_1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$ (presión)

Tubería 2:

$d_2 = 110 \text{ mm}$ (diámetro)
 $z_2 = 5,0 \text{ m}$ (cota)
 $P_2 = ?$ Calcular.

$Q = 10,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0028 \text{ m}^3/\text{s}$ (caudal igual en ambas tuberías)

$\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$ (Peso específico del agua)

Con los datos que tenemos, para calcular la presión en la tubería 2, aplicamos Bernoulli y despejamos la presión de la tubería 2:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \rightarrow P_2 = \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \gamma + P_1 + (z_1 - z_2) \gamma$$

$$P_2 = \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \gamma + P_1 + (z_1 - z_2) \gamma \quad \mathbf{f:3.3}$$

Por lo tanto para poder calcular la presión de la tubería 2, necesitamos:

- las velocidades en ambas tuberías
- la presión expresada en kgf/m^3 .

a. Para calcular la velocidad sabemos que el caudal es igual al producto de la velocidad por el área de sección. (f:1.7) $\rightarrow Q = v \times S$

Para calcular la velocidad debemos saber el área de sección A

Para el diámetro:	El área es:
75 mm	0,00442 m ²
110 mm	0,00950 m ²

calculo de velocidades:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \rightarrow v_1 = \frac{0.0028 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00442 \text{ m}^2} = 0.633 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \rightarrow v_2 = \frac{0.0028 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00950 \text{ m}^2} = 0.295 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidades: } v_1 = 0,633 \text{ m/s} \quad v_2 = 0,295 \text{ m/s}$$

b. Para expresar la presión en kgf/m² (ver apéndice ¿?)

$$P_1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2 = 10000 \text{ kgf/m}^2$$

Para calcular la presión en la sección 2.(f: 3.4)

$$P_2 = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 - z_2 \rightarrow P_2 = \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \gamma + P_1 + (z_1 - z_2) \gamma$$

$$P_2 = \left(\frac{(0.633 \text{ m/s})^2 - (0.295 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right) \times 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} + 10000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} + (4.0 \text{ m} - 5,0 \text{ m}) \times 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} = 9020 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_2 = 9000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 0.90 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Apéndice 4. Tablas de pérdidas de carga distribuida

Tablas obtenidas en forma experimental

Material	HF	HF	HF	HF	HF	HF	PVC o PEAD	PVC o PEAD	PVC o PEAD	PVC o PEAD	PVC o PEAD	PVC o PEAD
Diámetro interior (mm)	75	75	75	102	102	102	66	66	66	99	99	99
Caudal (m ³ /h)	16	32	40	16	32	40	16	32	40	16	32	40
Velocidad (m/s)	1,0	2,0	2,5	0,5	1,1	1,4	1,3	2,6	3,2	0,6	1,2	1,4
ΔH (m) / 100 m	2,0	7,3	11,1	0,5	1,6	2,5	2,8	10,3	15,5	0,4	1,4	2,2

