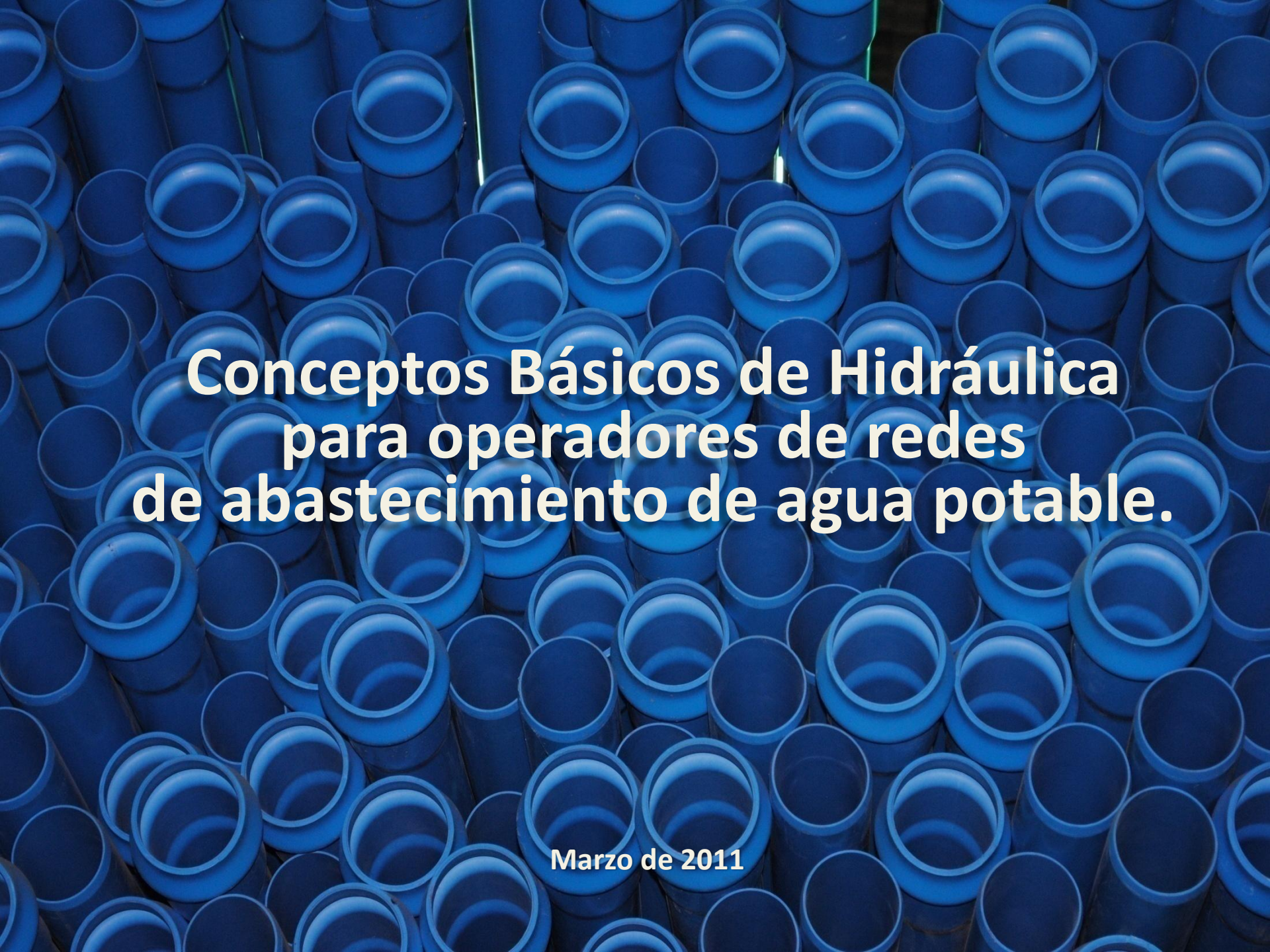




Conceptos Básicos de Hidráulica para operadores de redes de abastecimiento de agua potable.

Marzo de 2011

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:

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

3 Hidrodinámica

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

5 Aparatos de medida

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

2 Hidrostática

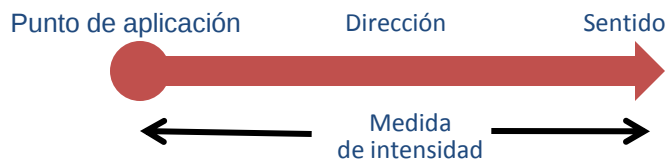
- Introducción
- Principio de Pascal
- Presión hidrostática
- Vasos Comunicantes

4 Ejemplos de aplicación

- Válvulas reguladoras
- Bombas

1. Definiciones y conceptos básicos

1.1 Fuerza



La fuerza en el Sistema Internacional se mide en Kgf (kilogramos fuerza) o N (newton) : $1 \text{ Kgf} = 9.8 \text{ N}$.

Ejemplo. La fuerza que le ejerce al piso una persona de 80 kg. parada quieta es de 80 Kgf.

Sistema	Longitud	Masa	Tiempo	Fuerza
(SI) MKS	m	kg	s	Newton (N)

1. Definiciones y conceptos básicos

1.1 Fuerza - Peso

En torno a la Tierra existe una región llamada campo gravitacional, en la cual todos los cuerpos sufren su influencia, ésta se representa en forma de una fuerza.

La fuerza que la Tierra ejerce sobre los cuerpos colocados en su campo gravitacional es denominada fuerza-peso.

Esta dirigida hacia el centro de la Tierra y aplicada siempre en el centro de gravedad de los cuerpos.

El peso de un cuerpo se obtiene como el producto de su masa por la constante de gravedad g en el punto en que se encuentra.

$$P = m g \text{ siendo } g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

m es la masa del cuerpo



* $\text{Peso} = \text{masa} * g$, siendo g la aceleración gravitatoria que vale 9.8 m/s^2

1. Definiciones y conceptos básicos

1.2 Densidad y peso específico

Densidad absoluta.

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.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

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

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.

Peso específico

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

$$\gamma = \text{peso específico} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{P}{V}$$

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

El peso específico es el peso de un cuerpo por unidad de volumen.

Es igual a la densidad pero multiplicada por g (aceleración gravitatoria).

1. Definiciones y conceptos básicos

1.3 Presión

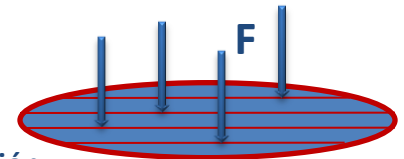
Consideramos la acción de “lustrado” de un automóvil. Supongamos que en este trabajo esta siendo aplicada una fuerza F constante ejercida por la palma de la mano sobre la superficie del automóvil.

Supongamos que ahora deseamos eliminar una pequeña mancha del auto. Esto lo conseguimos aplicando sobre la mancha, solo la punta de los dedos. En los dos casos la fuerza F aplicada fue la misma, pero los resultados obtenidos en el trabajo son diferentes. Esto es así porque el efecto del lustrado depende no sólo de la fuerza que la mano ejerce sobre el auto, sino también del área de aplicación o superficie de contacto de la misma.

La magnitud que relaciona la fuerza F aplicada, con el área de aplicación se denomina presión

$$\text{presión} = \frac{F}{S}$$

Siendo S el área de aplicación



La presión es la fuerza por unidad de superficie. $P = F / S$.

La unidad más comúnmente usada será el Kgf/cm^2

Existen otras unidades como ser:

- $\text{N / m}^2 = \text{Pascal}$
- Atmósferas
- mm de Hg
- $\text{Psi (lbf / pulg}^2 \text{)}$
- etc.

1. Definiciones y conceptos básicos

1.3 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. Por ejemplo la presión atmosférica es una presión absoluta y su valor (que depende de la altura, entre otras cosas) es del orden de: $1.033 \text{ Kg/cm}^2 \cong 1033 \text{ Hpa} \cong 760 \text{ mm Hg} \cong 14.22 \text{ psi}$ o $\text{lb/pulg}^2 \cong 1 \text{ atm}$.

La presión absoluta se mide con un barómetro.

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 Kg/cm^2 o 1 atm .

La presión manométrica se mide con un manómetro.

Ejemplo: cuando medimos con un manómetro la presión del agua y vale 2 Kg/cm^2 , lo que se está midiendo es la presión por encima de la atmosférica, es decir que la presión absoluta sería: $P_a = 1 + 2 = 3 \text{ Kg/cm}^2$

En general, la presión absoluta (P_a) es la suma de la manométrica (P_m) más la atmosférica (P_{atm}): $P_a = P_m + P_{atm}$

1. Definiciones y conceptos básicos

1.3 Presión - Ejemplos

IMPORTANTE: $1 \text{ Kgf} / \text{cm}^2 = 10 \text{ m.c.a.}$ (metros de columna de agua).
Se justificará más adelante.

EJEMPLOS:

- Calcular la presión que ejerce un clavo cuya punta tiene una superficie de 0.04 cm^2 cuando sobre su cabeza se aplica una fuerza de 2 kgf.
 - Respuesta: $50 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$.

- Calcular la presión que ejercería el mismo clavo, soportando la misma fuerza, pero apoyado sobre su cabeza, cuya superficie mide 1 cm^2 .
 - Respuesta: $2 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$.

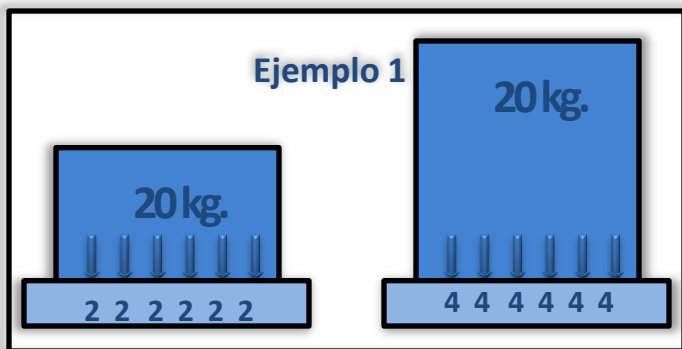


1. Definiciones y conceptos básicos

1.3 Diferencia entre fuerza y presión.

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

- Fuerzas iguales pueden producir presiones diferentes.



Sean dos prismas de 20 Kgf, pero uno con 10 cm² de base y el otro con solo 5 cm². Las presiones que cada uno ejerce sobre su base son:

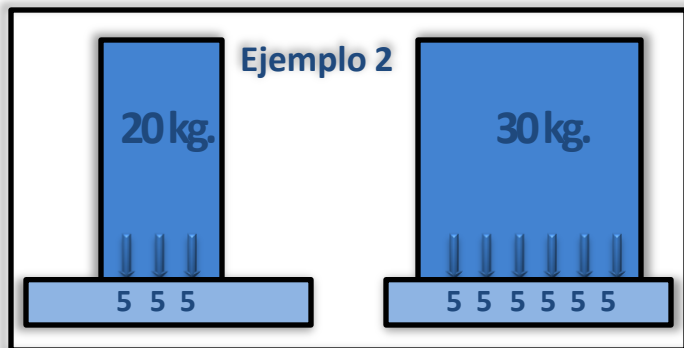
Como:

$$p = \frac{F}{S} \quad \text{entonces en el primer caso } p_1 = \frac{20 \text{ Kgf.}}{10 \text{ cm}^2} = 2 \text{ Kigf/cm}^2$$

en el segundo caso:

$$p = \frac{F}{S} \quad p_2 = \frac{20 \text{ Kgf.}}{5 \text{ cm}^2} = 4 \text{ Kigf/cm}^2$$

- Fuerzas diferentes pueden producir presiones iguales.



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

$$p_1 = \frac{30 \text{ Kgf}}{6 \text{ cm}^2} = 5 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$p_2 = \frac{20 \text{ Kgf.}}{4 \text{ cm}^2} = 5 \text{ Kigf/cm}^2$$

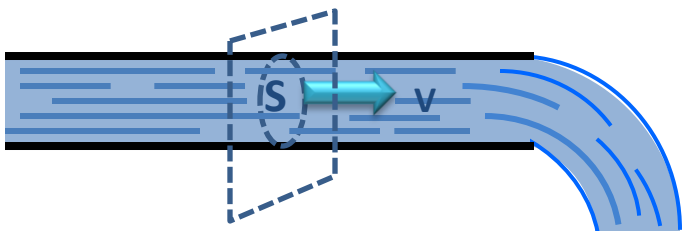
1. Definiciones y conceptos básicos

1.4 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 S y el tiempo t que emplea en pasar.

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



Si la velocidad con que se mueve el líquido es v , en t segundos recorrerá una distancia $d = v \cdot t$. Si suponemos que la corriente de agua tiene forma cilíndrica, el volumen de V de agua que ha pasado en t segundos ocupa el volumen de un cilindro que tiene S de base y $v \cdot t$ de altura. Entonces:

$$Q = \frac{S \cdot v \cdot t}{t} = S \cdot v$$

Ejemplo: por un tubo de sección $S = 10 \text{ cm}^2$ circula una corriente de agua cuya velocidad es 5 m/segundo .

¿Qué cantidad de líquido atraviesa la sección S en 10 segundos ?

Respuesta: 50 L

$$Q = \frac{V}{t} \quad V = Q \cdot t$$

En resumen:

El Caudal Q se calcula como el volumen de agua (V) que atraviesa una sección de una tubería (S) en un determinado período de tiempo (t), es decir: $Q = V/t$.

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

1. Definiciones y conceptos básicos

1.4 Caudal y Velocidad.

Ejemplos de cálculo:

Una tubería de 1 m de diámetro interior (área $\cong 0.785 \text{ m}^2$), transporta un caudal $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Calcular la velocidad media en la tubería.

– Respuesta: $v = 1.27 \text{ m/s}$.

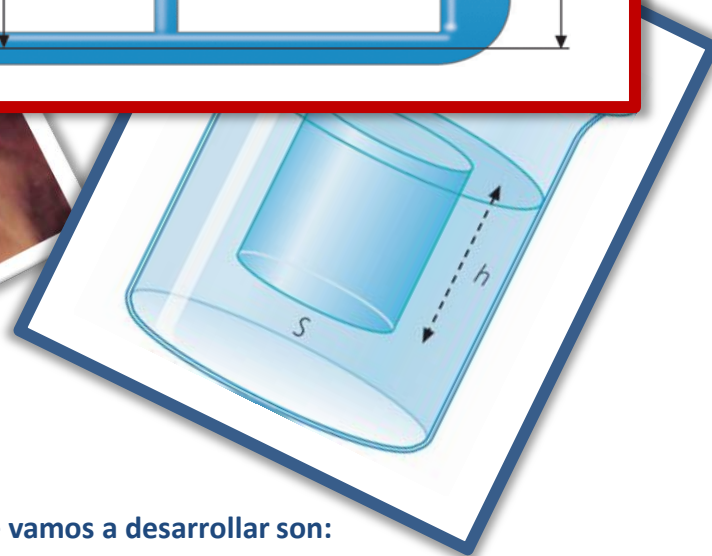
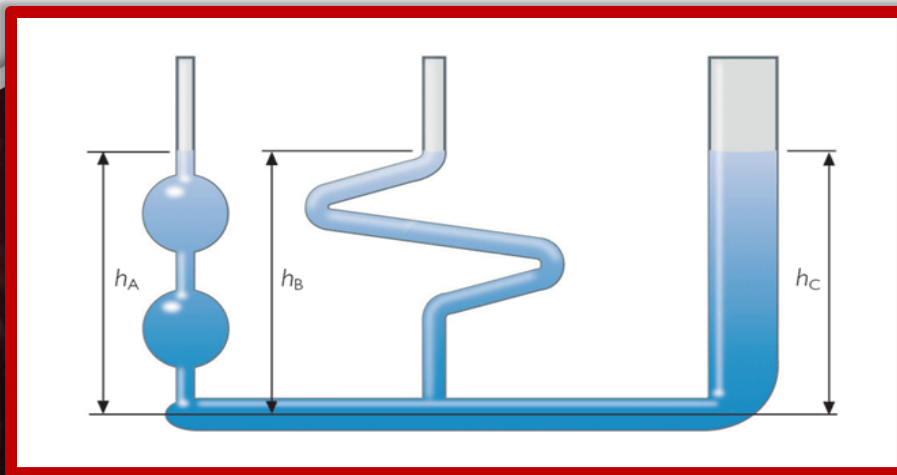
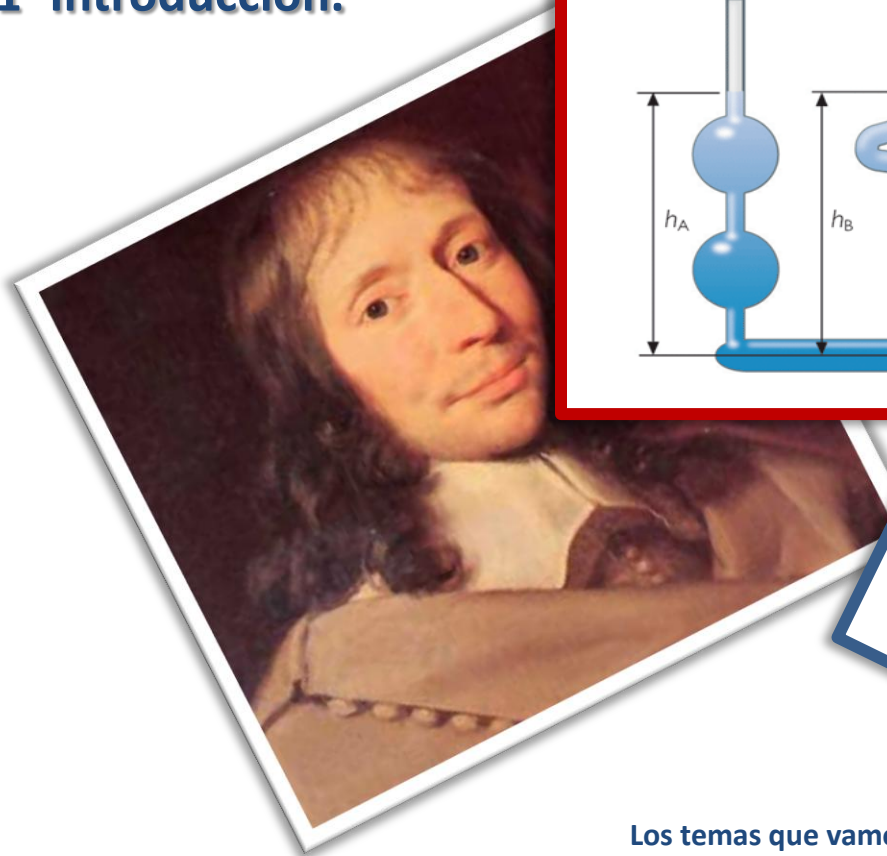


Una tubería de 1 m de diámetro interior (área $\cong 0.785 \text{ m}^2$), transporta un caudal Q cuya velocidad media es de $v = 1.5 \text{ m/s}$. Calcular el caudal y expresarlo en m^3/s y m^3/h .

– Respuesta: $Q = 1.18 \text{ m}^3/\text{s} = 4239 \text{ m}^3/\text{h}$

2. Hidrostática

2.1 Introducción.



Los temas que vamos a desarrollar son:

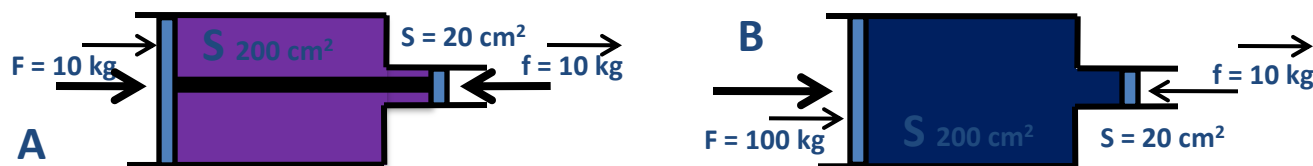
- Principio de Pascal
- Presión hidrostática
- Vasos comunicantes

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

2. Hidrostática

2.2 Principio de Pascal.

Una característica de los sólidos, es tener forma propia. Los líquidos en cambio, no tienen forma determinada, y adoptan la del recipiente que los contiene. La diferencia fundamental no es esa sin embargo.



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 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 fuerza s. Pero entonces, ¿qué es lo que transmiten?.

Sobre el émbolo chico se aplicó una fuerza de 10 kgf., y como su superficie mide 20 cm^2 . la presión ejercida es de:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{10 \text{ kgf}}{20 \text{ cm}^2} = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$$

Sobre el émbolo grande se ha aplicado una fuerza de 100 kgf., y como su superficie es de 200 cm^2 . la presión ejercida es de:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{100 \text{ kgf}}{200 \text{ cm}^2} = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$$

Es decir que se ha transmitido la presión y no la fuerza.

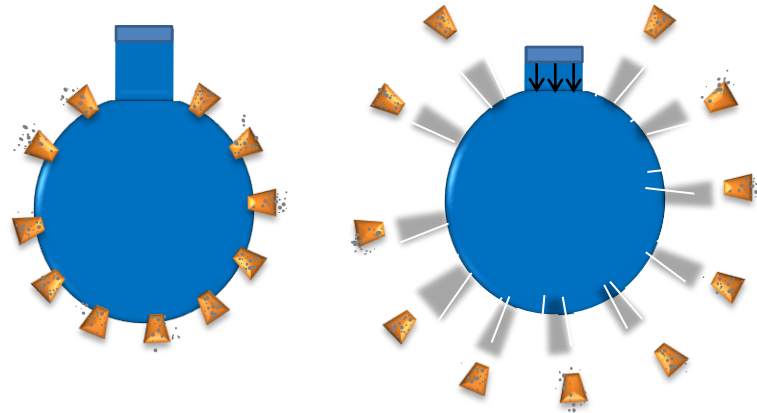
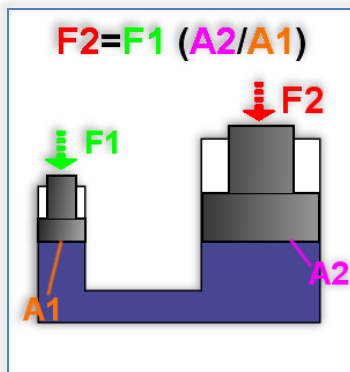
Un líquido transmite la presión que se ejerce sobre él.

2. Hidrostática

2.2 Principio de Pascal.

IMPORTANTE: LOS LÍQUIDOS TRANSMITEN LA PRESIÓN.

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 $p_1 = F_1 / A_1$. Debido al principio de Pascal sabemos que la presión que se le ejerce al pistón 2 es: $p_2 = p_1$, entonces $p_2 = F_2 / A_2 = F_1 / A_1 = p_1$, de donde se deduce la relación de fuerzas: $F_2 = F_1 * A_2 / A_1$.

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 Kgf sobre el pistón de área A_2 , sabiendo que el área A_1 es 20 veces mas chica que el área A_2 .

— Respuesta: $F_1 = 20$ kgf.

2. Hidrostática

2.2 Principio de Pascal.

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

PRESIÓN DE UNA COLUMNA DE LIQUIDO.

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: $p = F / S$.

Si llamamos V al volumen de la columna de líquido, y γ su peso específico, el peso F es: $F = V \cdot \gamma$. y como el volumen es $V = S \cdot h$ reemplazando en la fórmula de la presión se tiene:

$$p = \frac{V \cdot \gamma}{S} = \frac{S \cdot h \cdot \gamma}{S} = \text{concluimos } p = h \cdot \gamma$$

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 $1 \text{ gf} / \text{cm}^3$ resulta: $p = h \cdot \gamma = 10 \text{ m} \cdot 1 \text{ gf/cm}^3 = 1000 \text{ gf/cm}^2$
Es decir que cada cm^2 de la superficie del buzo soporta una fuerza de 1 kgf.

Observación: La respuesta anterior no es totalmente correcta, por cuanto sobre el buzo actúa también la presión atmosférica.

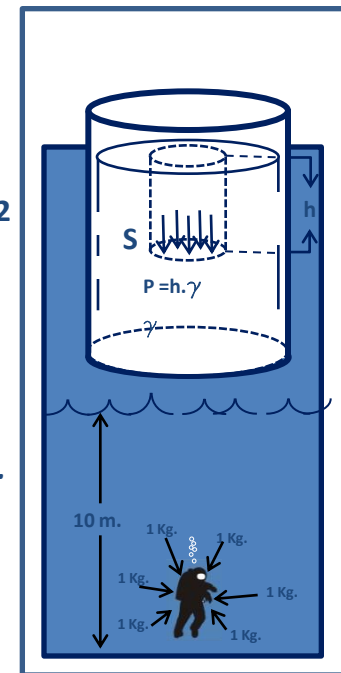
$$p = p_0 + \gamma \cdot h$$

(p_0 es la presión atmosférica).

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:

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



2. Hidrostática

2.3 Presión hidrostática.

EJEMPLO:

- Dos tanques cilíndricos de abastecimiento de agua de una ciudad contienen:
 - Tanque 1: Altura de agua = 10 m , Diámetro = 5 m, Volumen de agua = 196.250 L
 - Tanque 2: Altura de agua = 10 m , Diámetro = 10m, 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 kg / cm²

IMPORTANTE:

LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN UN TANQUE O CUALQUIER OTRO RECIPIENTE
DEPENDE UNICAMENTE DE LA ALTURA DE AGUA.

$$P = h \cdot \gamma$$

2. Hidrostática

2.4 Vasos comunicantes.

Dado un líquido en equilibrio, en vasos de formas diferentes que se comunican entre si, 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.

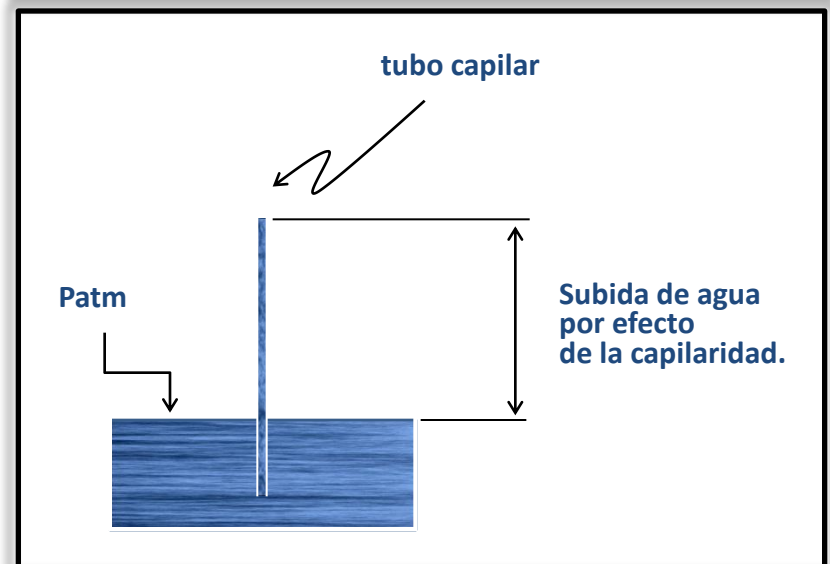


— CAPILARIDAD.

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.

Ejemplo:

En un tubo de 1 mm de diámetro interno, el agua sube aproximadamente 35 cm.



2. Hidrostática

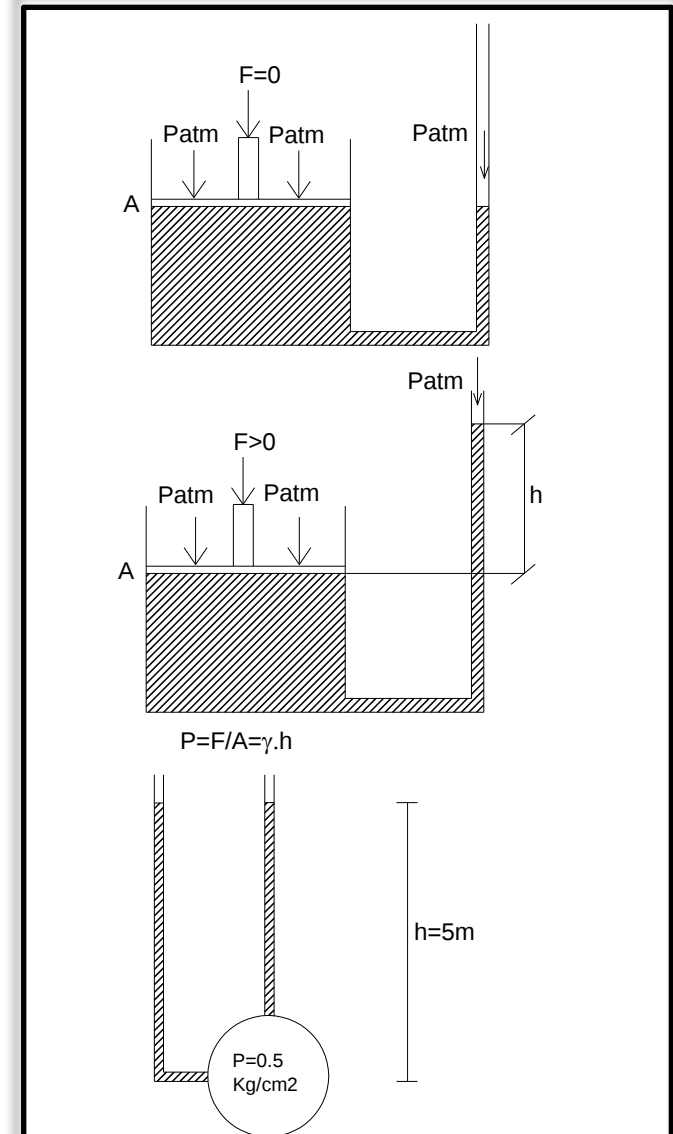
2.4 Vasos comunicantes. Aplicación.

Para medir la presión en el interior de un recipiente, podemos hacerlo por medio de la lectura de la altura piezométrica del líquido en 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 el interior de un 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 que altura ascenderá el agua en el tubo?

— Respuesta : 5 m



2. Hidrostática

2.4 Vasos comunicantes.

Hablamos que existe vacío relativo o simplemente vacío en un recipiente cuando en el interior del mismo tenemos una presión inferior a la presión atmosférica local.

Paradoja

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

Respuesta

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

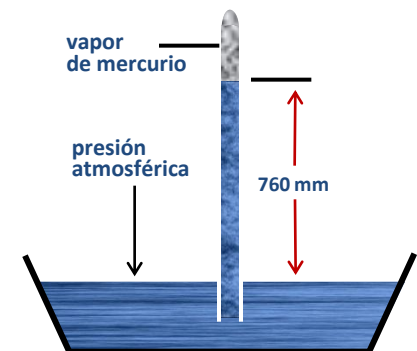
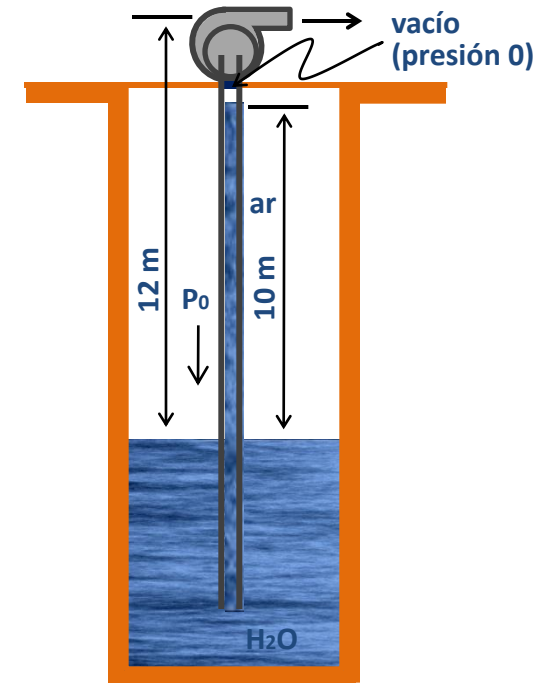
Tomando la presión atmosférica igual a 10.000 Kgf por m² y el peso específico γ igual a 1.000 Kgf por m³ tenemos:

$$p = \gamma \cdot h \text{ entonces } h = \frac{P}{\gamma} = \frac{10.000 \text{ Kgf / m}^2}{1.000 \text{ Kgf / m}^3}$$

Siendo h = altura atmosférica , h = 10 m altura elevada por una presión de 1 atmósfera

Experimento de Torricelli. Consiste en tomar un tubo de vidrio cerrado por un extremo

y abierto por el otro, de 1 metro aproximadamente de longitud, llenarlo de mercurio, taparlo con el dedo pulgar e invertirlo introduciendo el extremo abierto en una cubeta con mercurio. Luego si el tubo se coloca vertical, la altura de la columna de mercurio de la cubeta es aproximadamente cerca de la altura del nivel del mar de 760 mm apareciendo en la parte superior del tubo el llamado vacío de Torricelli



3. Hidrodinámica

3.1 Introducción.

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

En primer 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:

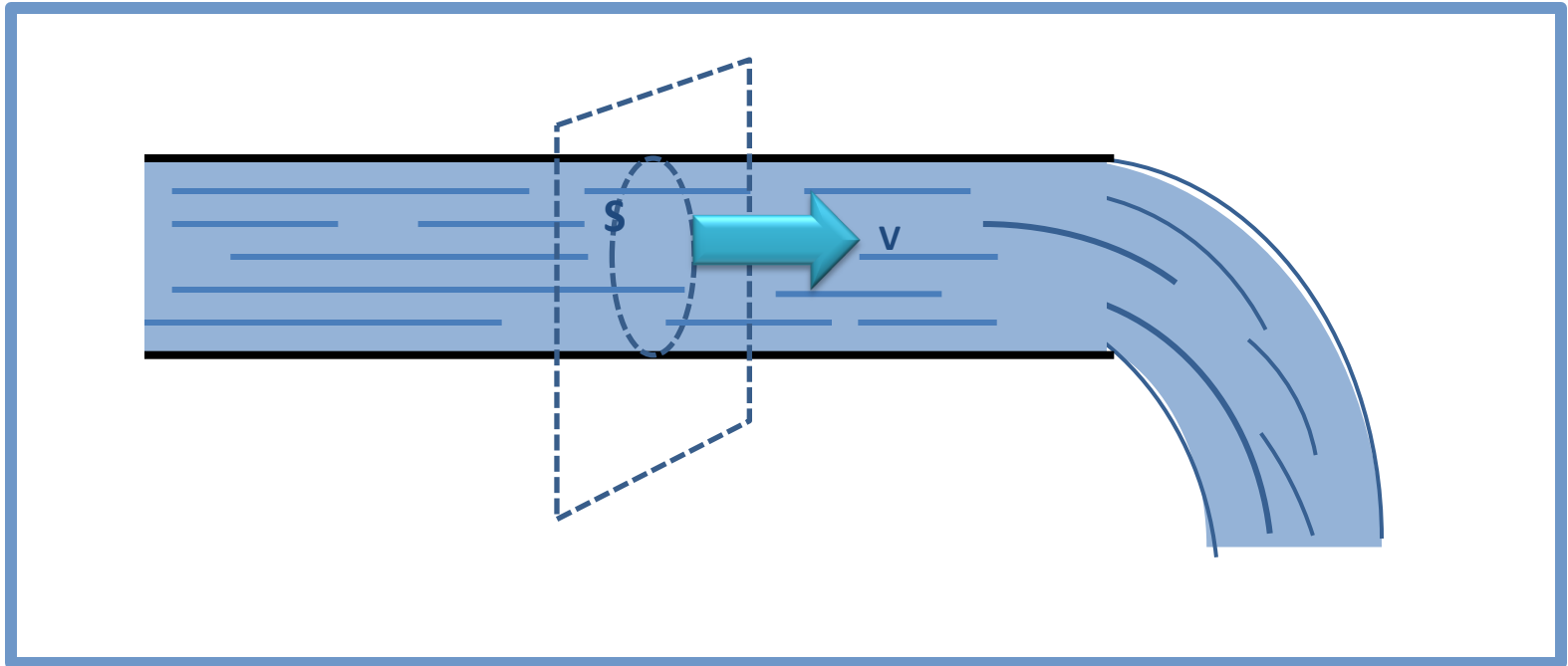
- Caudal de una corriente líquida
- Energía de una corriente líquida
- Ley de Bernoulli
- Pérdida de carga



3. Hidrodinámica

3.2 Caudal de una corriente líquida.

Como se expresó anteriormente, se define caudal de una corriente líquida Q , a la cantidad de volumen V que atraviesa una sección S , en un determinado tiempo t . $Q = V / t$.



La velocidad media con que se mueve el fluido que atraviesa la sección S , se define como: $v = Q / S$

3. Hidrodinámica

3.2 Caudal de una corriente líquida.

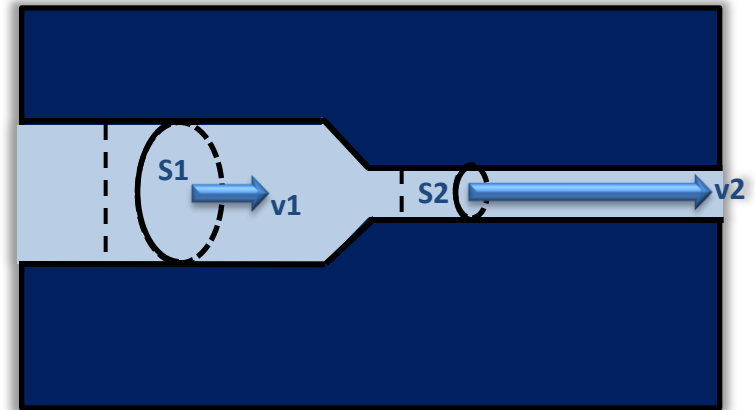
RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA SECCIÓN

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.

¿Qué relación hay entre sección y velocidad?.

Supongamos que el caudal sea constante en el conducto de la figura.

Como $Q = S \cdot v$ entonces



$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

La relación anterior se le conoce como ecuación de continuidad o balance de masa, la cual establece que en ausencia de entradas o salidas externas, el caudal que atraviesa la sección 1 (S1) es el mismo que el que atraviesa la sección 2 (S2). Esta propiedad es válida debido a que el agua se considera incompresible.

Cuanto mas chica la sección mayor es la velocidad y viceversa.

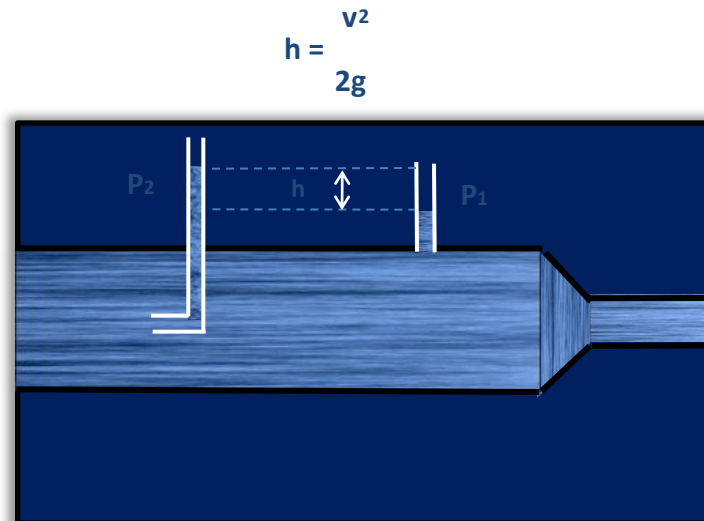
Pero que pasa con la presión? Esta pregunta se contestara mas adelante.

3. Hidrodinámica

3.3 Energía de una corriente líquida.

Se distinguen tres términos que caracterizan la energía de una corriente líquida:

- Z . Es la posición medida desde un nivel de referencia, medida en m. Asociado a la energía Potencial.
- P/γ . Es la presión manométrica, medida en m.c.a. Asociado a la energía de Presión.
- $V^2 / 2g$. Es la velocidad media del fluido elevada al cuadrado, medida en m.c.a. Asociada a la energía cinética del fluido, debido a que ahora el fluido está en movimiento. A este término también se le conoce como presión hidrodinámica.

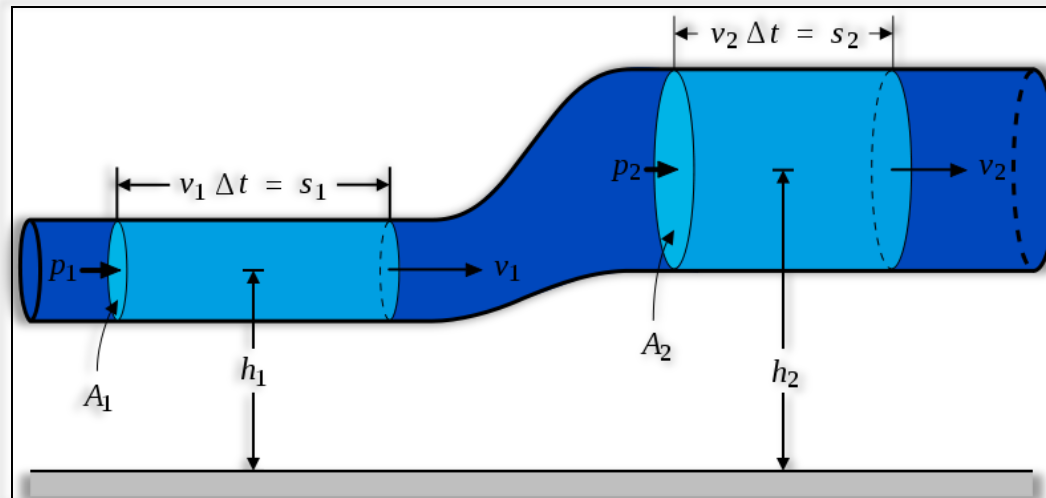


3. Hidrodinámica

3.3 Energía de una corriente líquida.

$$H = z + p/\gamma + v^2 / 2g$$

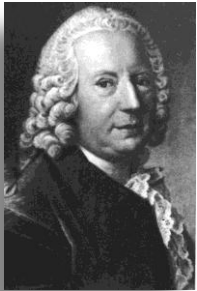
En resumen, la energía de una corriente líquida es: $H = z + p/\gamma + v^2 / 2g$, donde los primeros dos términos ($z + p/\gamma$) se pueden agrupar en lo que se conoce como PIEZOMÉTRICA. Esta es de fundamental importancia para el manejo de redes hidráulicas y más adelante se profundizará en él.



3. Hidrodinámica

3.4 Ley de Bernoulli.

Empezaremos estudiando el caso de fluido perfecto (sin viscosidad) y por ende sin pérdida de carga o energía por rozamiento.

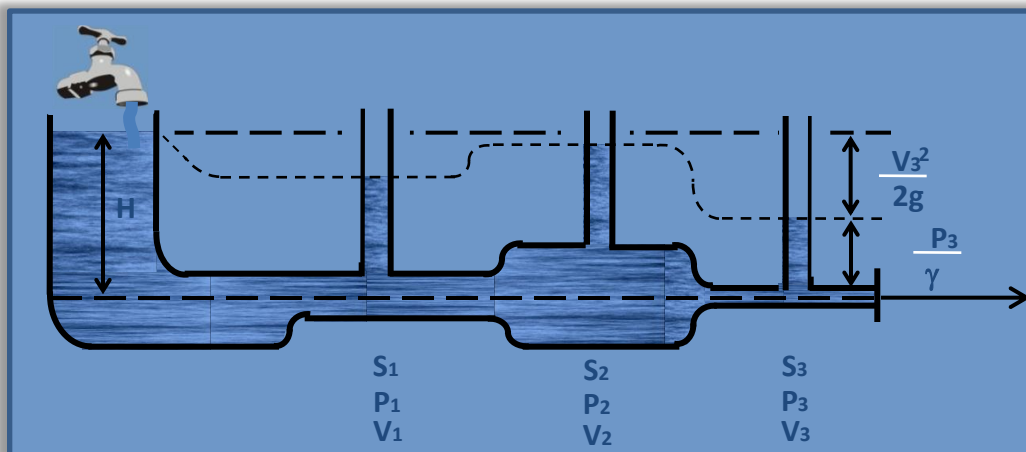
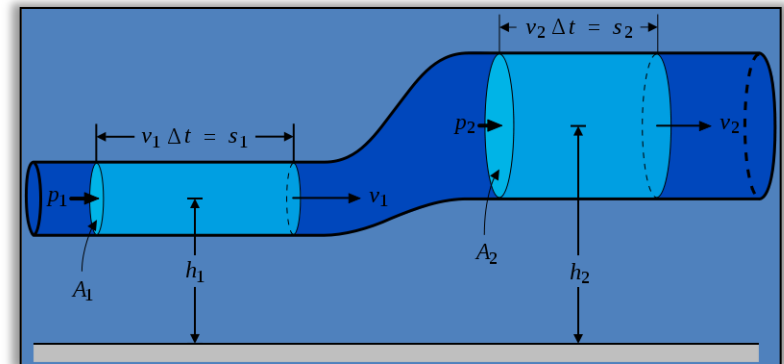


Ley de Bernoulli: Establece que para un fluido perfecto se conserva la energía hidráulica entre dos secciones diferentes.

Considerando la figura:

$$H_1 = z_1 + p_1 / \gamma + v_1^2 / 2g = H_2 = z_2 + p_2 / \gamma + v_2^2 / 2g .$$

Este importantísimo resultado tiene muchas aplicaciones prácticas.



3. Hidrodinámica

3.4 Ley de Bernoulli.

Para los casos usuales que nos vamos a encontrar en la práctica, basta con conocer los dos primeros términos de la ecuación de Bernoulli, al que conocemos como piezométrica ($z + p/\gamma$), dado que se justifica por los valores usuales con que se trabaja:

- $z \cong 10 \text{ m}$
- $p \cong 1 \text{ Kg/cm}^2 \cong 10 \text{ m}$
- $v \cong 1 \text{ m/s} \Rightarrow v^2/2g \cong (1 \text{ m/s})^2 / (2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2) \cong 0.05 \text{ m}$
- Como se aprecia en el ejemplo numérico, la influencia del término de la velocidad es depreciable en los casos de trabajo más usual en la operación de redes.

Por tanto, es muy importante saber la piezométrica de diferentes puntos de la red. Para ello debemos conocer la altura geométrica z , que la obtenemos de la información planimétrica de las zonas y la presión manométrica, que se obtiene en medidas de campo, con la ayuda de un manómetro.

IMPORTANTE. Siempre estamos considerando presiones manométricas, es decir por encima de la atmosférica.

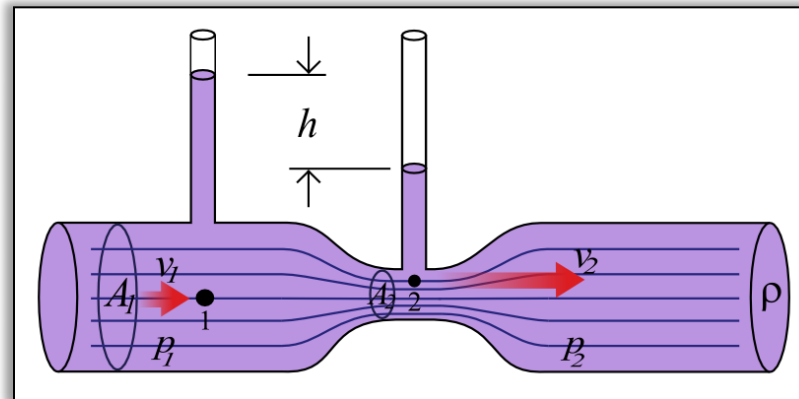
IMPORTANTE. El término de velocidad no influye en la energía hidráulica del fluido para la mayoría de los casos que vamos a ver, pero sí tiene una gran importancia en la evaluación de la pérdida de carga que veremos más adelante.

3. Hidrodinámica

3.4 Ley de Bernoulli.

Si bien el término de la velocidad no tiene influencia en la energía de una corriente líquida para la mayoría de los casos que se presentan en la práctica en el trabajo de redes, existen otros casos en donde sí es importante y tienen aplicación práctica y de uso en OSE:

- **Tubo Venturi.** Utilizado para medir caudales en tuberías grandes (Líneas de Aducción).



- Al pasar el agua de una sección (1) mayor a otra menor (2), aumenta la velocidad v_2 comparada con v_1 . Aplicando la ley de Bernoulli: $H_1 = H_2 \Rightarrow z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g$. Como la cota geométrica es la misma, resulta: $p_1/\gamma + v_1^2/2g = p_2/\gamma + v_2^2/2g$. Entonces para mantenerse la igualdad, si aumenta la velocidad v_2 respecto de v_1 , la presión p_2 debe disminuir respecto de p_1 .
- Conociendo la relación de diámetros entre las secciones 1 y 2 y la diferencia de presión (Δh) se estima el caudal de la tubería.
- EN RESUMEN, CUANDO SE ACHICA EL DIÁMETRO EN UNA TUBERÍA, AUMENTA LA VELOCIDAD Y DISMINUYE LA PRESIÓN.
- EL FENÓMENO INVERSO OCURRE SI SE AGRANDA EL DIÁMETRO EN UNA TUBERÍA.

3. Hidrodinámica

3.4 Ley de Bernoulli.

Tubo Venturi ubicado en la sala de bombas del recalque de la cuarta línea

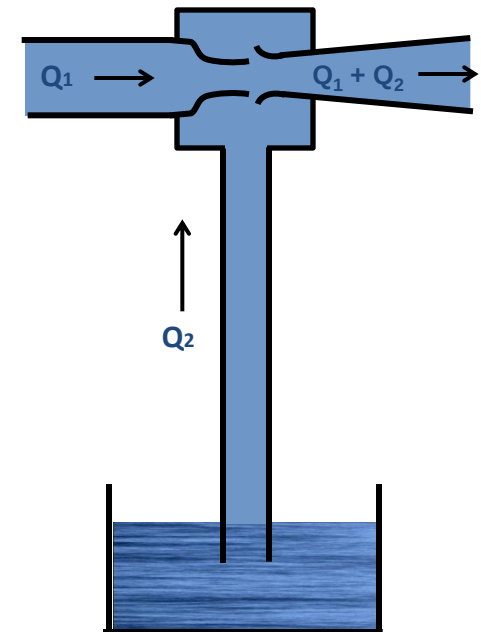
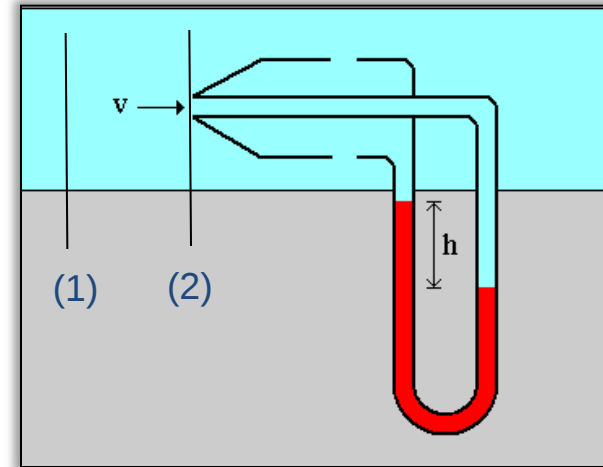


3. Hidrodinámica

3.4 Ley de Bernoulli.

- **Tubo Pitot.** Es otro dispositivo para medir caudal. Se usa en líneas de menor diámetro.
 - Se utiliza como instrumento de medida para estimar la velocidad en aviones.
 - Utiliza un punto de velocidad nula (en la sección 2). Aplicando Bernoulli entre 1 y 2 se determina que $p_1 + v_1^2 / 2g = p_2 + v_2^2 / 2g$, como $v_2 = 0$ y $p_2 - p_1 = h$, se puede calcular v_1 . Conociendo la sección se estima el caudal.
- **Eyector.** Utilizado en plantas de tratamiento de agua potable en la etapa de inyección del cloro gas. Este sistema es usado en la planta de Aguas Corrientes. Consiste en un tubo venturi por el cual pasa una corriente de agua que crea de una depresión que succiona otro fluido, en este caso cloro.

También utilizado en los carburadores de los vehículos, el aire pasa por el venturi, disminuye su presión y succiona el combustible.



3. Hidrodinámica

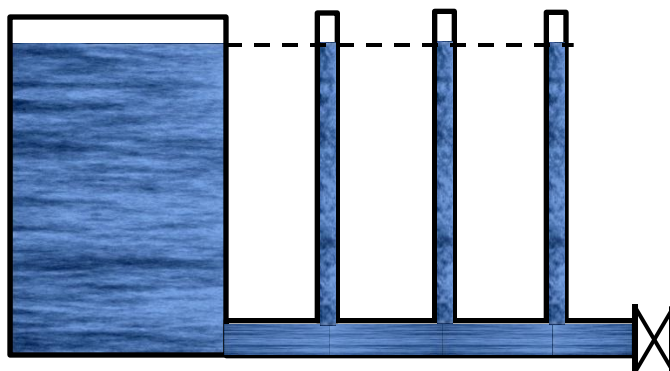
3.4 Pérdida de carga.

Hasta el momento hemos analizado las leyes y principios de los denominados fluidos perfectos, es decir fluidos sin viscosidad y por ende sin pérdida de carga o energía por rozamiento.

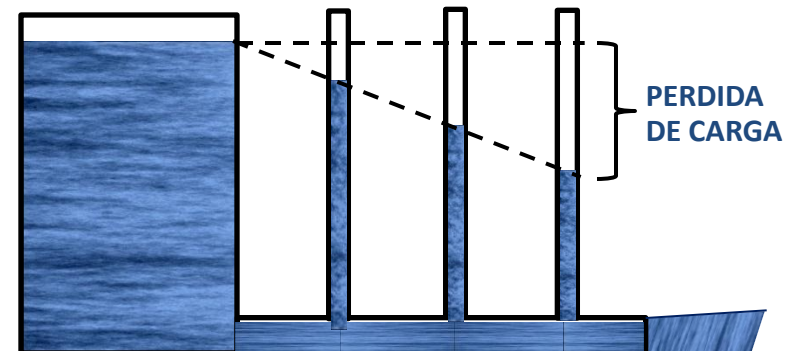
La mayoría de los fluidos (incluido el agua) tienen viscosidad y por tanto no es correcto tratarlo como fluido perfecto.

Igualmente, no quiere decir que todo lo anterior no sirva de nada, por el contrario, será de mucha utilidad para el estudio de la pérdida de carga o energía.

El gráfico siguiente muestra esquemáticamente la pérdida de carga durante el desagüe de un tanque.



(a)



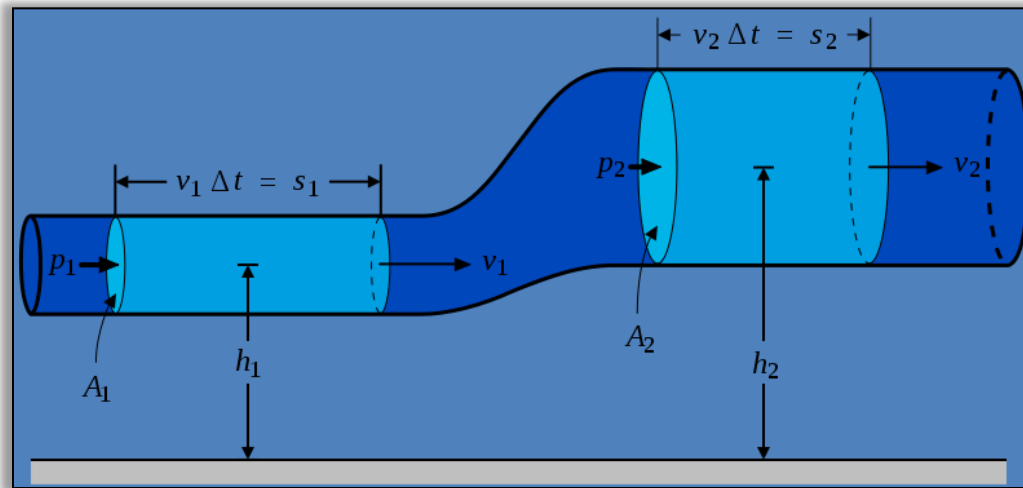
(b)

3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

Como vimos previamente, la Ley de Bernoulli establece que para un fluido perfecto se conserva la energía hidráulica entre dos secciones diferentes. Considerando la figura:

$$H_1 = z_1 + p_1 / \gamma + v_1^2 / 2g = H_2 = z_2 + p_2 / \gamma + v_2^2 / 2g .$$



Este resultado tiene algunas modificaciones cuando se trata de un fluido como el agua que tiene pérdidas de carga por rozamiento interno, contra las paredes de la tubería y debido a la turbulencia.

Ahora la carga hidráulica (H) no se conserva entre las secciones 1 y 2, sino que existe una pérdida de carga que le llamaremos Δh . Entonces: $H_1 - H_2 = \Delta h$. Esa pérdida de energía se disipa como calor.

3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

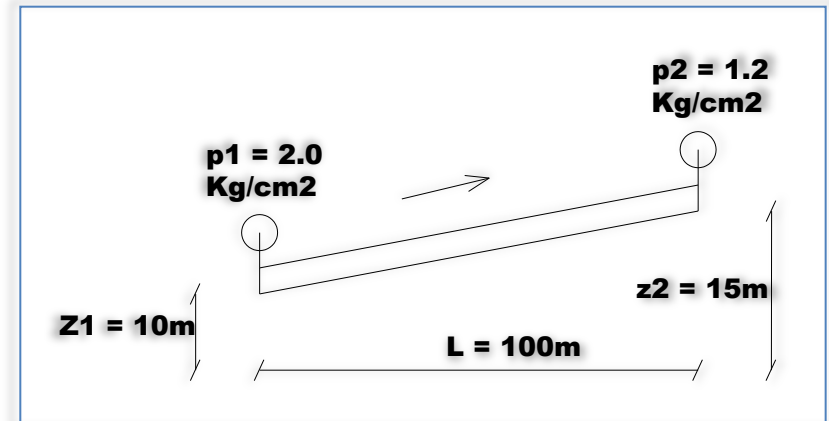
Sigue siendo válida la observación que el término de velocidad $v^2 / 2g$ es despreciable frente a la piezométrica ($z+p/\gamma$), por lo que la nueva ley de Bernoulli resulta:

$$H_1 - H_2 = \Delta h = (z_1 + p_1/\gamma) - (z_2 + p_2/\gamma), \text{ por simplicidad:}$$

$$(z_1 + p_1) - (z_2 + p_2) = \text{piezométrica 1} - \text{piezométrica 2} = \Delta h$$

Ejemplos:

- Considerar una tubería recta de PVC de 110mm de 100m de longitud y los siguientes datos:
 - $Z_1 = 10 \text{ m}$ (cota geométrica en el extremo inicial)
 - $P_1 = 2 \text{ Kg/cm}^2$ (presión en el extremo inicial)
 - $Z_2 = 15 \text{ m}$ (cota geométrica en el extremo inicial)
 - $P_2 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$ (presión en el extremo inicial)
- Calcular la piezométrica en las secciones 1 y 2 y la pérdida de carga correspondiente.



- Respuesta : $\Delta h = \text{piezométrica 1} - \text{piezométrica 2} = 10 + 20 \text{ m} - (12 + 15 \text{ m}) = 3\text{m}$

3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

La pérdida de carga se puede dividir en dos tipos:

- Pérdida de carga distribuida. Ocasionada por el movimiento del fluido a lo largo de un tramo de tubería.
- Pérdida de carga localizada. Provocada por las piezas especiales de una instalación como ser: codos, curvas, tee, válvulas, reducciones, etc.

La pérdida de carga distribuida depende de:

- Material de la tubería. Ejemplo: tuberías de HF son mucho mas rugosas que tuberías de FC, PVC o PEAD, por tanto en las tuberías de HF se pierde mas carga.
- 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.
- Diámetro de la tubería. Cuanto mas chico sea el diámetro, mayor serán las pérdidas de carga.
- Caudal o velocidad. A mayor caudal que transporta una tubería mayor será la pérdida de carga.
- Temperatura del fluido. Está relacionado con la viscosidad. En el caso del agua tiene muy poca incidencia, pero en otros fluidos como los derivados del petróleo es muy importante.

Existen diferentes fórmulas empíricas (experimentales) que se utilizan para calcular las pérdidas de carga.

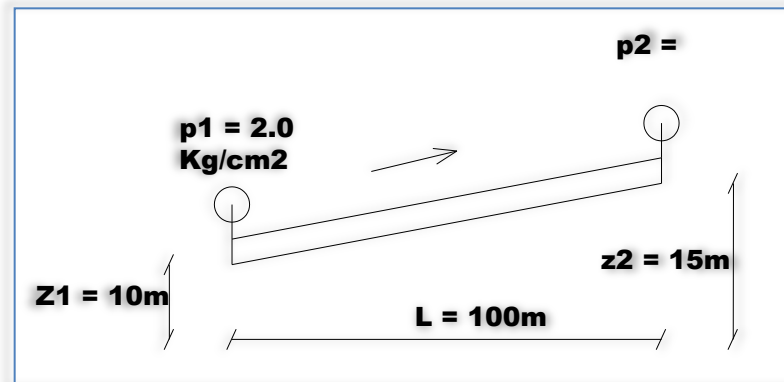
3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

Ejemplo:

Considere una tubería de HF de 100 mm de diámetro interior (área = $80 \text{ cm}^2 = 0.008 \text{ m}^2$) que transporta un caudal

$$Q = 0.012 \text{ m}^3/\text{s} = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}.$$



- Calcular la velocidad media.

Respuesta = 1.5 m/s

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

Respuesta = 7 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.

3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

La pérdida de carga 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. Depende de:

- Material de la pieza especial.
- Diámetro de la pieza especial. Cuanto mas chico sea el diámetro, mayor serán las pérdidas de carga.
- Caudal o velocidad. A mayor caudal que transporta una tubería mayor será la pérdida de carga.
- En el caso de codo o curvas, depende además del ángulo y del tipo de radio (corto o largo).
- En el caso de válvulas, depende de el porcentaje de apertura.

La suma de las dos pérdidas de carga (localizada + distribuida) nos da la pérdida de carga total en una instalación hidráulica.

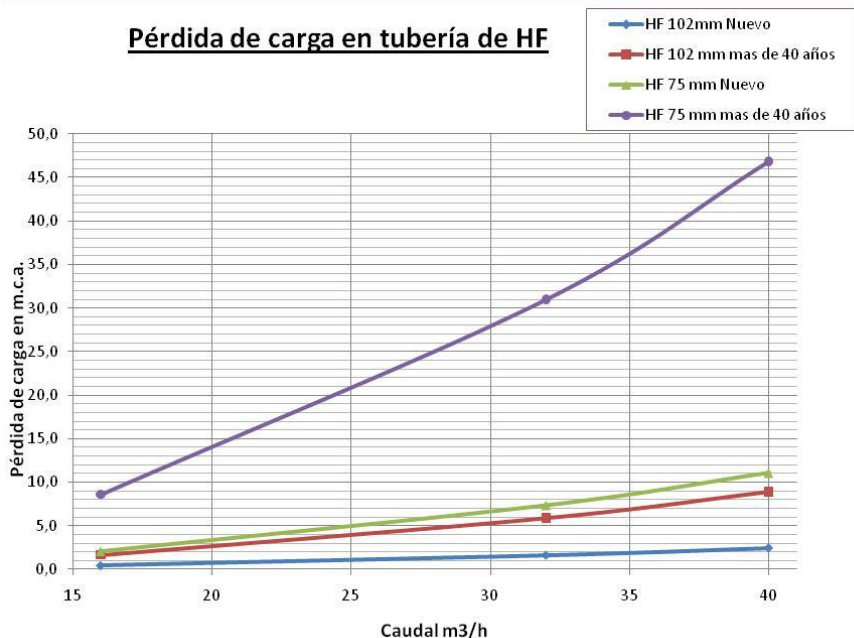
3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga

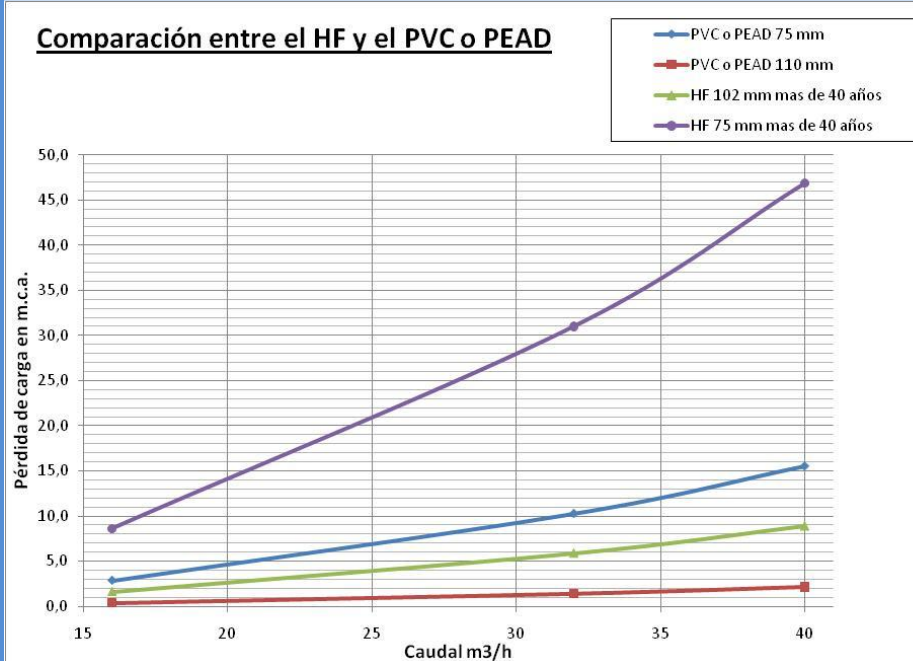
Pérdidas de carga en 100 m de tubería, para diferentes materiales, diámetros y caudales.

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 (m3/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

Pérdida de carga en tubería de HF



Comparación entre el HF y el PVC o PEAD

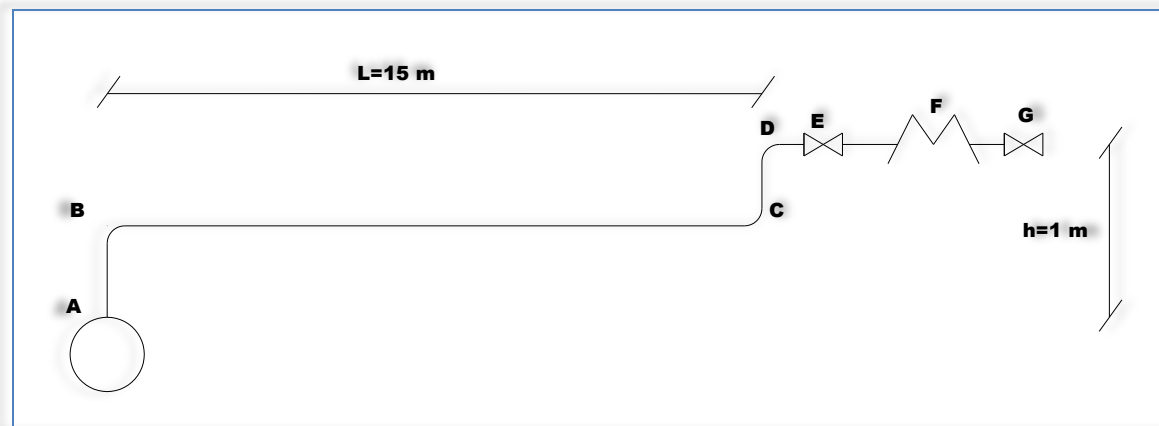


3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

Ejemplo:

Considerar la figura que representa esquemáticamente a un servicio domiciliario de PEAD 20mm.



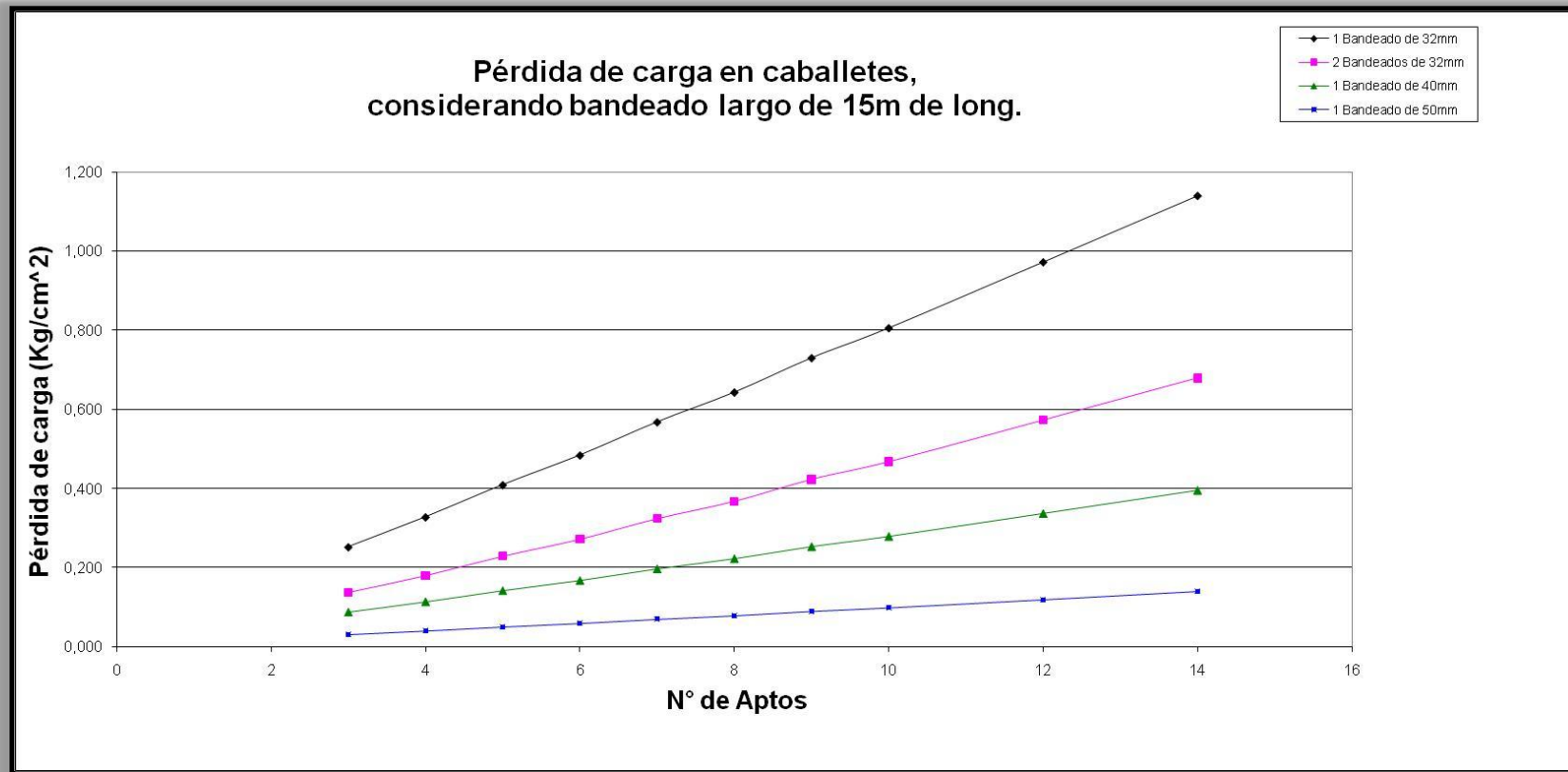
- Identifique puntos y tramos de tubería donde hay pérdida de carga localizada y distribuida.
- Considerando que la presión en la tubería de distribución es de 2.5 Kg/cm² y que la presión en el punto G medida cuando se registra un Q=1500 L/h es de 17 m.c.a., ¿calcular la pérdida de carga total entre A y G?
- Resp.= 7 m.c.a.
- Considere ahora que el caudal aumentó a 2500 L/h (por ejemplo aumentó el nº de personas que habitan la casa). Si la presión de la tubería se mantiene en 2.5 Kg/cm², la presión en G pasa a ser de 6 m.c.a., ¿calcular la nueva pérdida de carga total entre A y G?
- Resp. = 18 m.c.a. ¿Cómo podría solucionar la baja presión?
- Por ejemplo si se pasa a una tubería de PEAD de 32mm , la presión en G pasa a 22 m.c.a. Obsérvese la diferencia notoria en cada caso.

3. Hidrodinámica

3.4 Pérdida de carga.

Ejemplo:

Pérdida de carga en servicios largos para caballetes de 15m de longitud.



4. Ejemplos de aplicación. Válvulas reguladoras y Bombas

Veamos dos mecanismo que se utilizan para la controlar o aumentar la carga hidráulica de un sector:

- Válvula Reguladora.
- Bombas centrífugas.

Válvula Reguladora. 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 usualmente usadas en la zona son las de regulación de presión.

La válvula reguladora de presión, se encarga de reducir la presión a un valor fijo y estable (llamado consigna de presión) menor al de la presión aguas arriba de la válvula, con la finalidad de proteger las tuberías (fundamentalmente las de FC) y reducir los índices de pérdidas (fundamentalmente a la noche que es cuando aumenta la presión).



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.



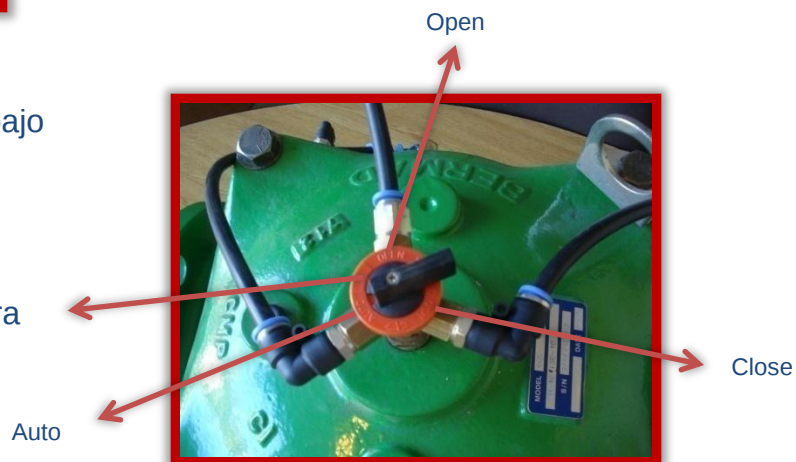
Piloto 3 vías



Toma aguas arriba
o de alta

Válvula
reguladora

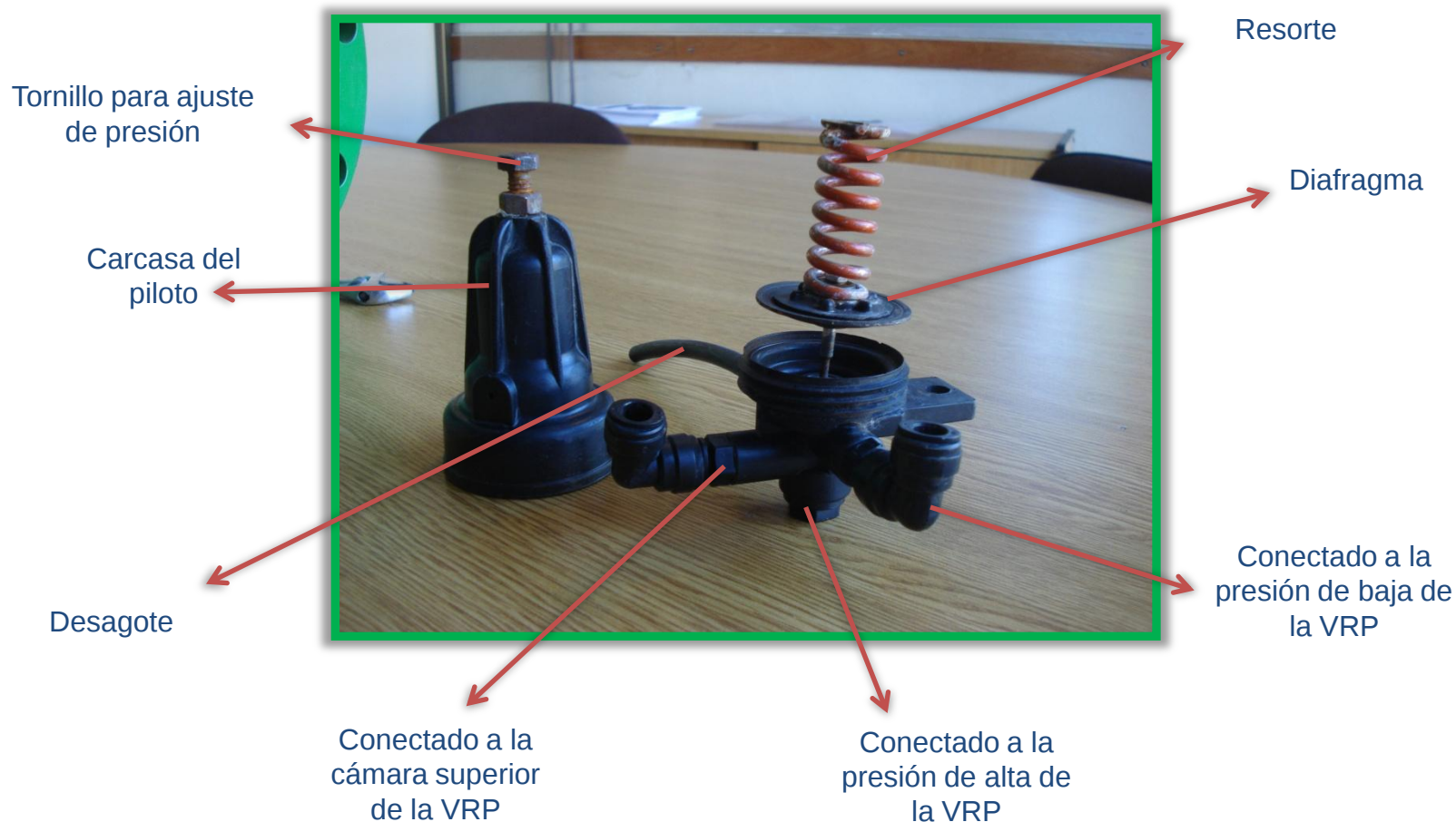
Toma aguas abajo
o de baja



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

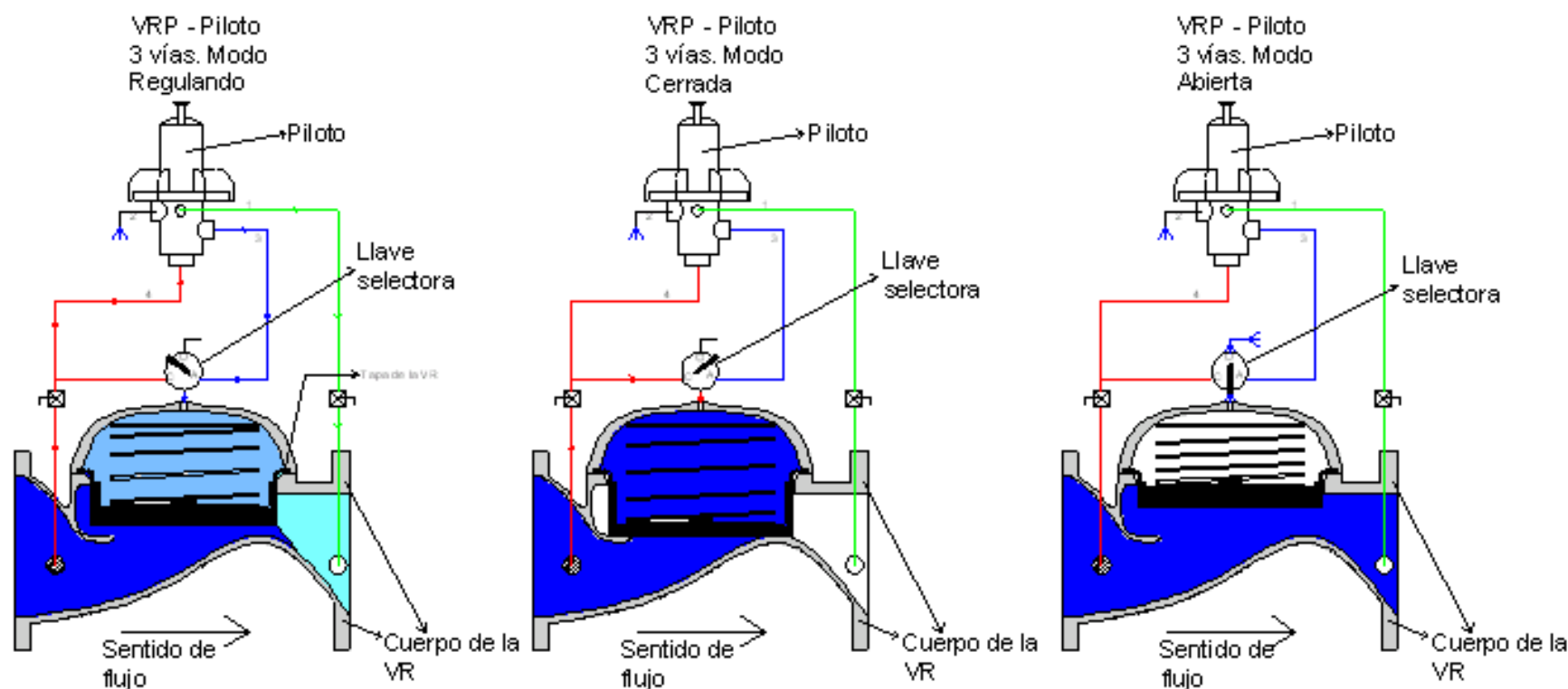
Piloto 3 vías



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

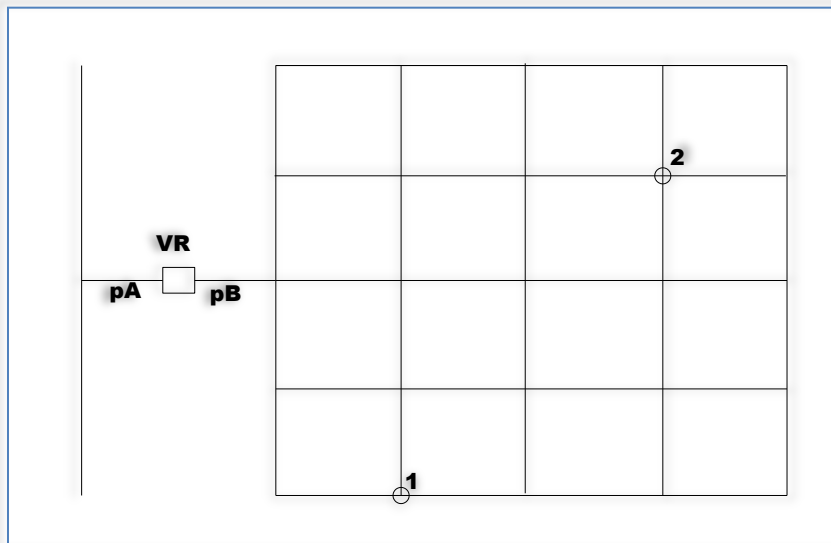
Esquema de funcionamiento



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

Esquema de una válvula reguladora de presión y el sector regulado:



Ejemplo:

Considerar los datos:

- $Z_{VR} = 20 \text{ m}$ (cota geométrica de la válvula reguladora),
- $Z_1 = 15 \text{ m}$ (cota geométrica del punto mas bajo del sector),
- $Z_2 = 30 \text{ m}$ (cota geométrica del punto mas 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 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.

4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

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

 $\Rightarrow p_2 > 30 \text{ m.c.a.}$
- ❖ 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: $H_B - H_1 = \Delta h = (z_B + p_B) - (z_1 + p_1) \Rightarrow p_B = (z_1 - z_B) + p_1 < (-5\text{m}) + 40 \text{ m} = 35 \text{ m} \Rightarrow p_2 < 35 \text{ m.c.a.}$

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

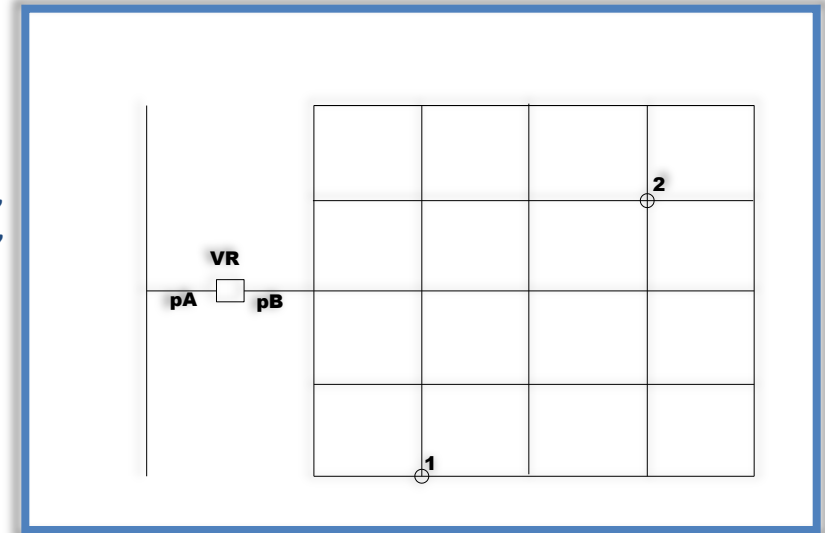
4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

Ejercicio:

Considerar el esquema de la figura, cuyos datos son:

- $Z_{VR} = 35 \text{ m}$ (cota geométrica de la válvula reguladora),
- $Z_1 = 25 \text{ m}$ (cota geométrica del punto mas bajo del sector),
- $Z_2 = 40 \text{ m}$ (cota geométrica del punto mas alto del sector),
- $p_A = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ (presión de alta o aguas arriba de la reguladora)



Se regula a una presión (p_B) de 3.5 kg/cm^2 . Se pretende que la presión en la noche en el punto mas bajo (1) no supere los 40 m.c.a.

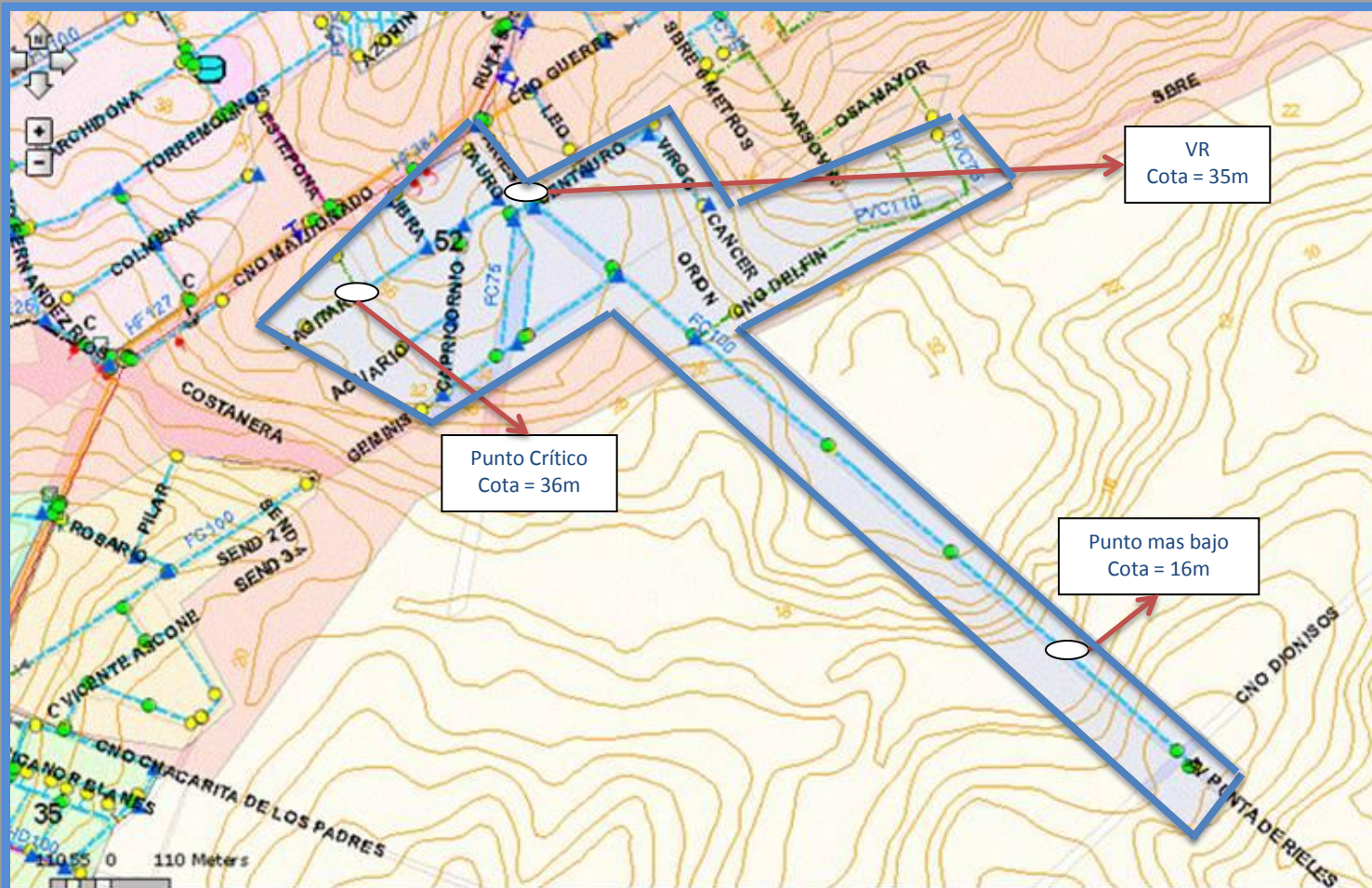
Por otro lado, se debe considerar que la pérdida de carga entre B y 2 en el día de mayor consumo y a la hora pico, se estima que vale 5 m.c.a. y que la presión en el punto mas alto (2) no debe ser inferior a 10 m.c.a.

Verificar si la presión elegida para la VR es correcta.

4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

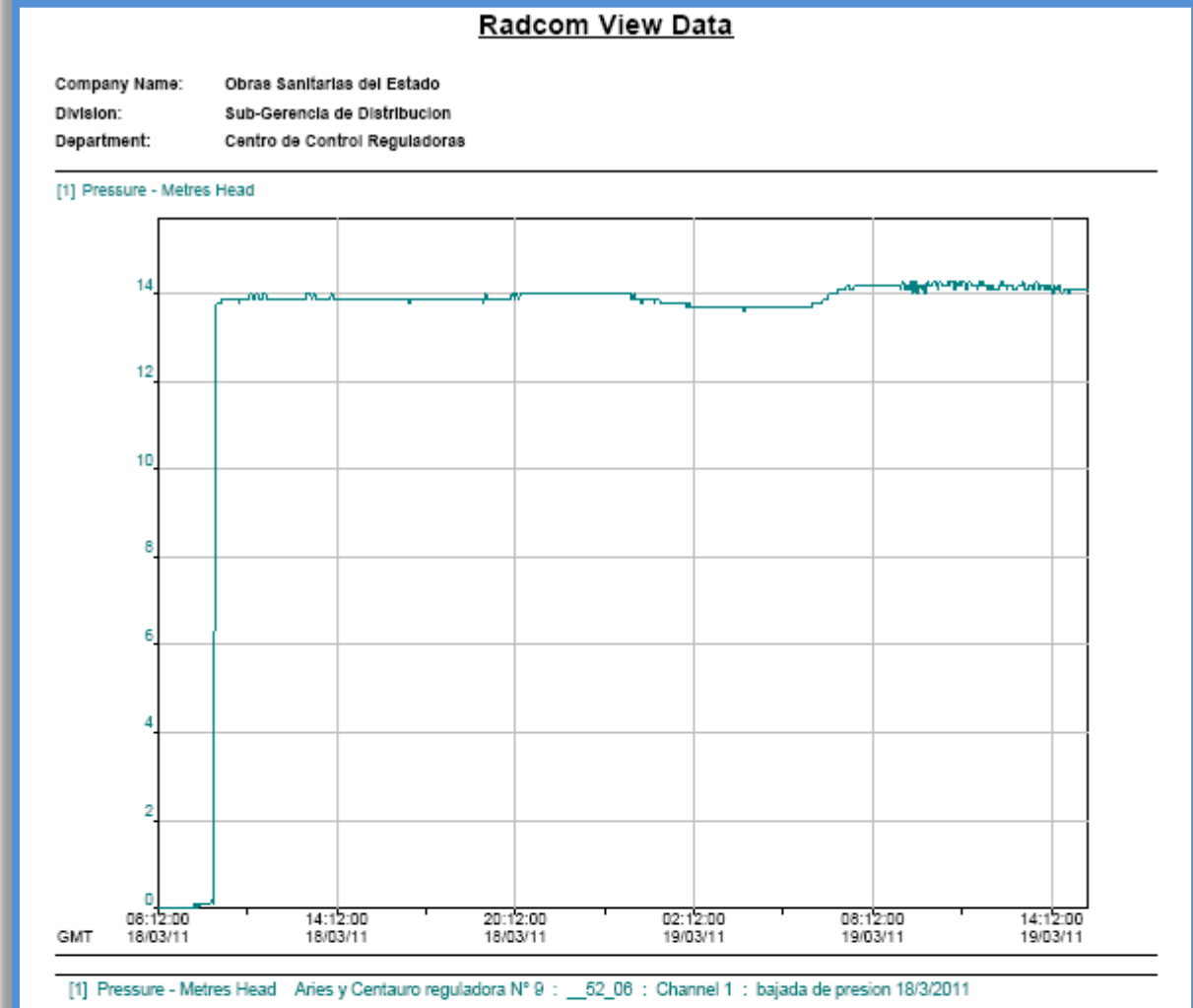
Aries y Centauro.



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

Aries y Centauro (buena regulación)



4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

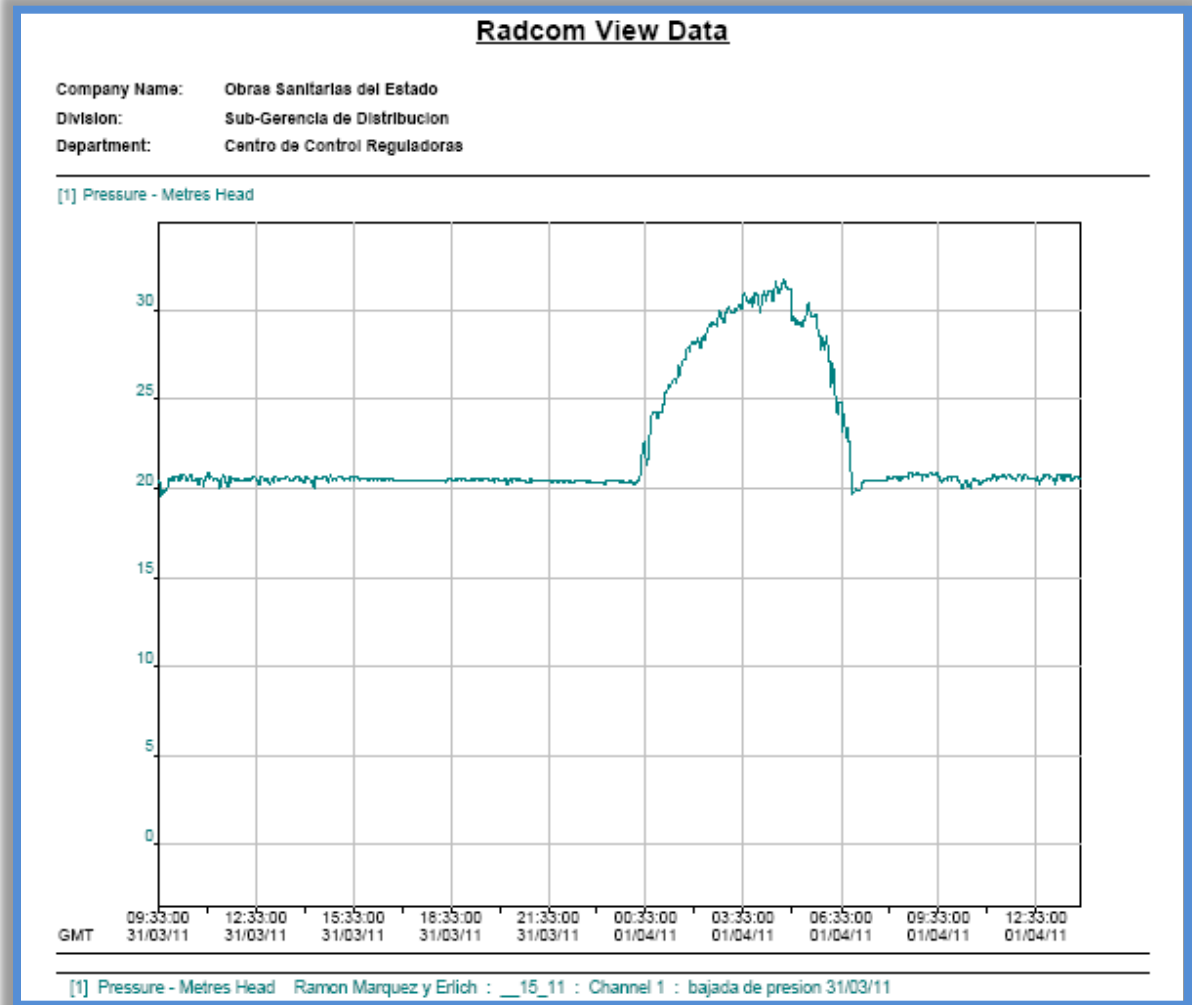
Aries y Centauro.

<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:	Fibroemento 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	

4. Ejemplos de aplicación.

4.1 Válvulas reguladoras.

Ramón Márquez y Erlich (mala regulación)



4. Ejemplos de aplicación.

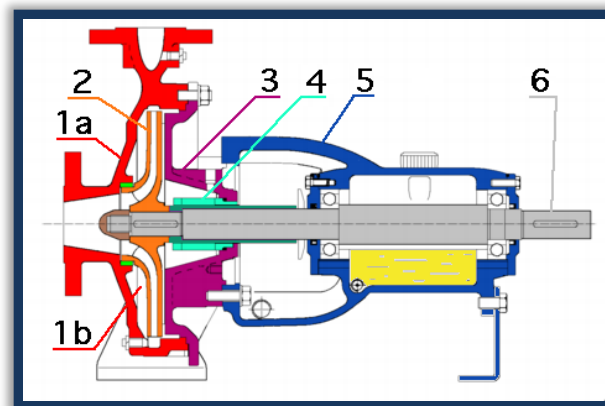
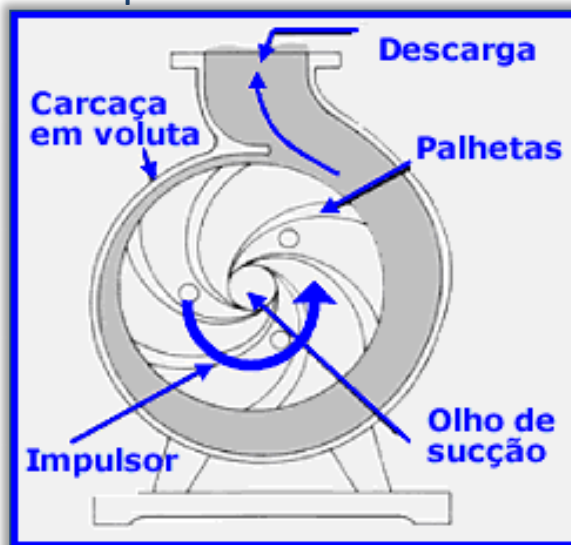
4.2 Bombas.

Se entiende por bomba el mecanismo que, accionado por un motor (eléctrico, de explosión, etc) aspira un fluido al producir vacío en su succión y luego lo impulsa con cierta presión hacia una dirección determinada. En otras palabras, LAS BOMBAS ENTREGAN ENERGÍA O CARGA HIDRÁULICA AL FLUIDO.

Existen diferentes tipos de bombas (centrífugas o 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.



Corte esquemático de una bomba centrífuga. 1a carcasa, 1b cuerpo de bomba, 2 rodete, 3 tapa de impulsión, 4 cierre del eje, 5 soporte de cojinetes, 6 eje.

4. Ejemplos de aplicación.

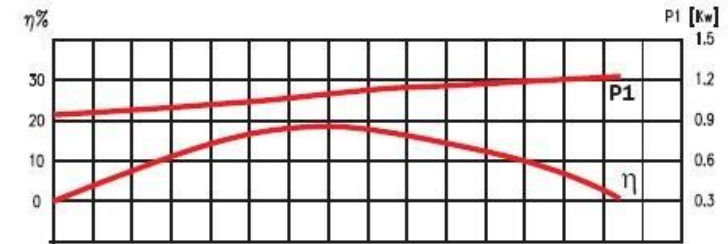
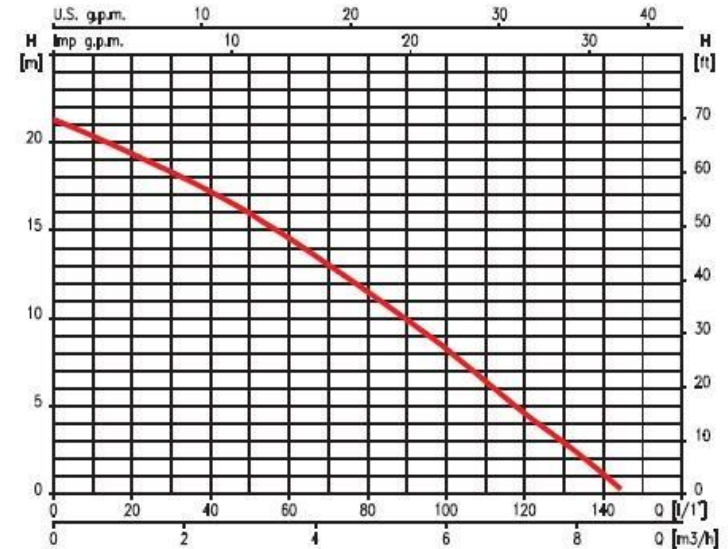
4.2 Bombas.

Curvas características de una bomba centrífuga:

- Carga hidráulica H en relación al caudal Q .
- Rendimiento en relación al caudal Q .
- Potencia en relación al caudal Q .

	A	B	C	D	E	F	G	Kg
Vigleor 150M	395.5	471	147.5	150.7	56.5	191	1 ^{1/2}	15.5

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

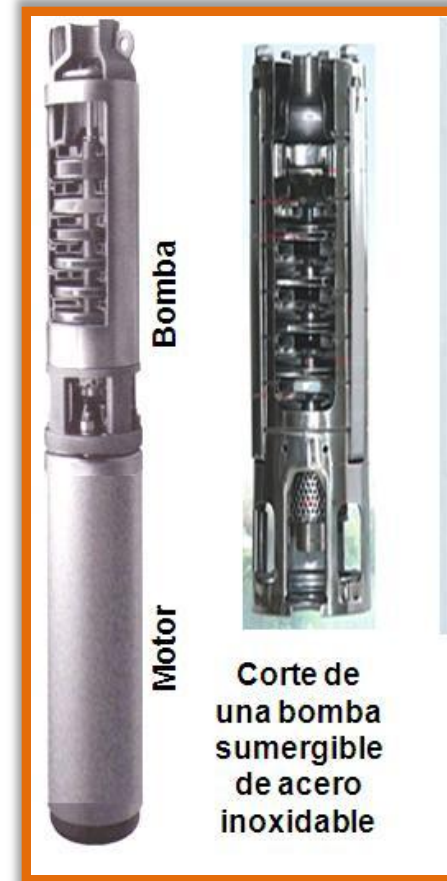


4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Bombas sumergibles para agua potable :

- Utilizadas en abastecimiento de localidades del interior del país.
- Son multirotor o multietapa.



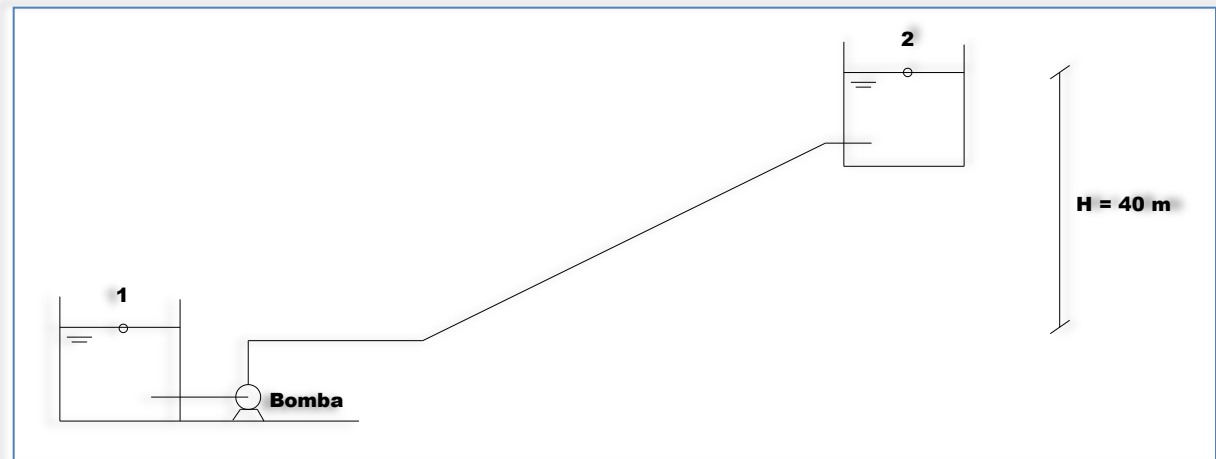
4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

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

2 Casos:

1. La bomba toma de un tanque.
2. La bomba toma de la red.



Toma de un tanque.

Considerar que la pérdida de carga entre el punto (1) y (2) es de 30 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:
 $H_1 + H_{\text{bomba}} - \Delta h = H_2 \Rightarrow (z_1 + p_1) + H_{\text{bomba}} - \Delta h = (z_2 + p_2) \Rightarrow H_{\text{bomba}} = (z_2 - z_1) + (p_2 - p_1) + \Delta h$ donde se debe considerar que:

$(z_2 - z_1) = 40 \text{ m}$ y $p_2 = p_1 = 0 \text{ m.c.a.}$ (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). $\Rightarrow H_{\text{bomba}} = 40 \text{ m} + 30 \text{ m}$
 $H_{\text{bomba}} = 70 \text{ m.c.a.} = 7.0 \text{ Kg/cm}^2$

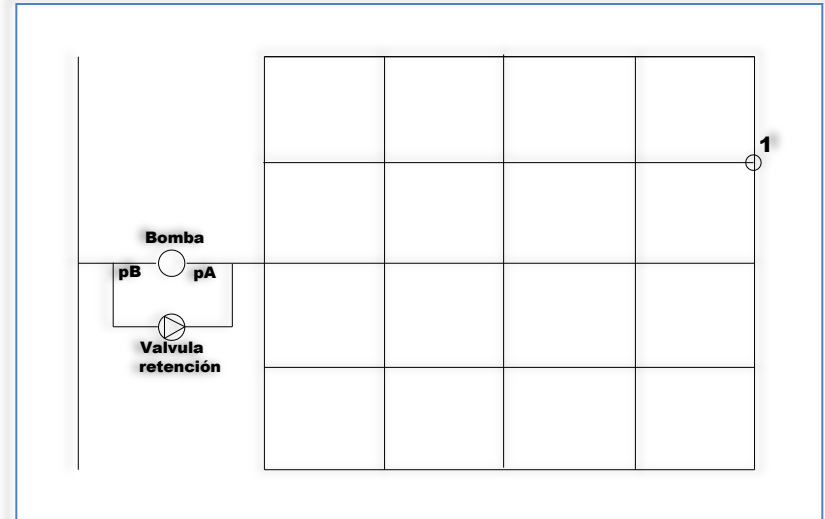
4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

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.



Aplicando la ley de Bernoulli entre B y 1 resulta:

$$H_B + H_{\text{bomba}} - \Delta h = H_1 \Rightarrow (z_B + p_B) + H_{\text{bomba}} - \Delta h = (z_1 + p_1) \Rightarrow p_1 = (z_B - z_1) + H_{\text{bomba}} + p_B - \Delta h = (40 - 55) + 30 + 20 - 25$$

$$\Rightarrow p_1 = 10 \text{ m.c.a.} = 1.0 \text{ Kg / cm}^2$$

4. Ejemplos de aplicación.

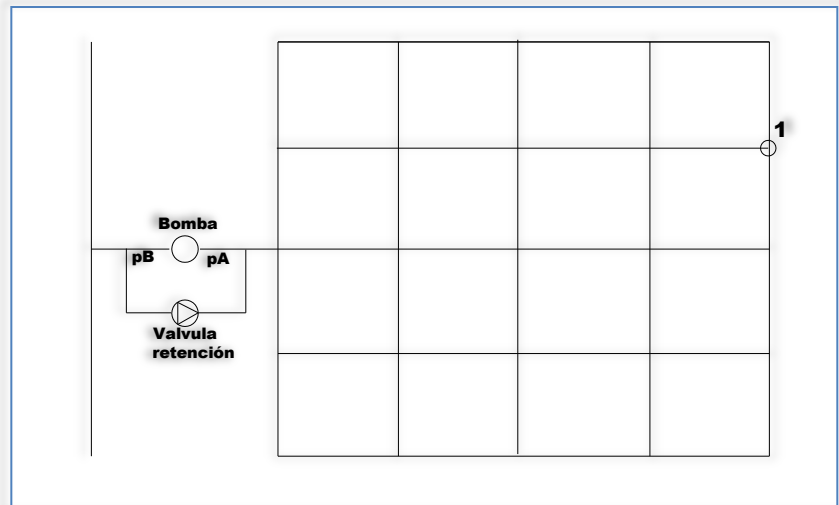
4.2 Bombas.

Ejercicio:

Considerar el mismo esquema de la figura:

cuyos datos son:

- $p_B = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$. Presión en la red o en la succión de la bomba.
- $z_B = z_A = 15 \text{ m}$. Cota geométrica de la bomba.
- $z_1 = 45 \text{ m}$. Cota geométrica del punto más alto y más alejado de la zona bombeada.
- $\Delta h = 15 \text{ m}$. Pérdida de carga entre B y 1, estimada para 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/cm^2

4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Fotos de bombas colocadas en Zona Centro:

Rafael y Rinaldi:



Datos de la bomba:

- Potencia = 10 Hp
- Caudal nominal = 72 m³/h
- Presión nominal = 23 m.c.a.
- Población abastecida = 3000 habitantes

4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Rinaldi y Mendoza:



Datos de la bomba:

- Potencia = 35 Hp
- Caudal nominal = 240 m³/h
- Presión nominal= 33 m.c.a.
- Población abastecida = 12.000 habitantes

4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Cerrito de la Victoria:



Datos de la bomba:

- Potencia = 28 Hp
- Caudal nominal = 170 m³/h
- Presión nominal= 30 m.c.a.
- Población abastecida = 9.000 habitantes

4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Bomba de alta. Aguas Corrientes (Flow Serve)



4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

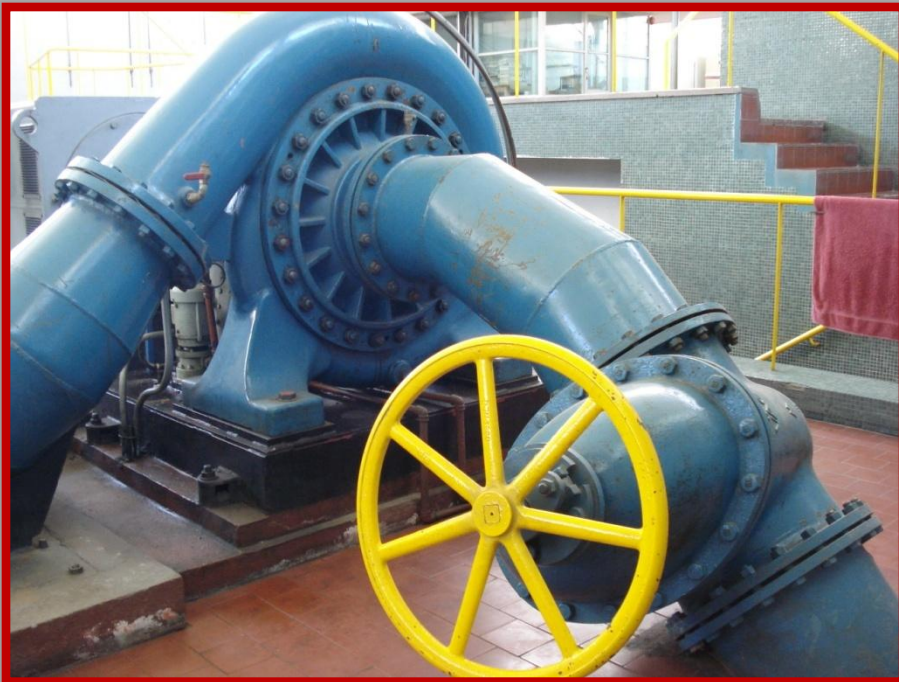
Bomba de alta. Aguas Corrientes (KSB)



4. Ejemplos de aplicación.

4.2 Bombas.

Bomba de alta. Aguas Corrientes (KSB)



5. Aparatos de medida.

5.1 Manómetros.

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.

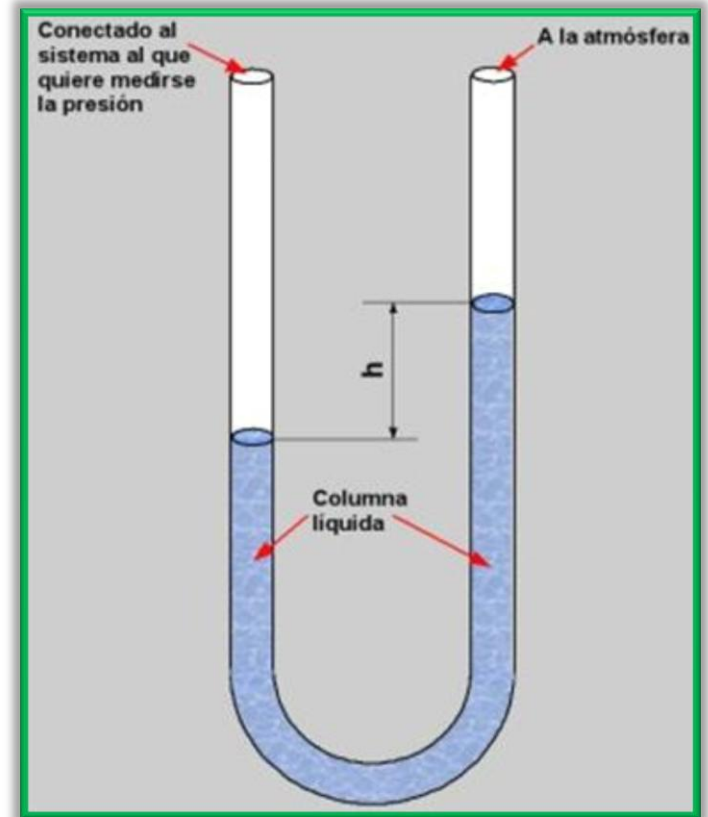
Existen muchos tipos de manómetros pero veremos dos:

- De tubo U
- De tubo Bourdon

Manómetro de Tubo en U. Está formado por un tubo de vidrio doblado en forma de U lleno parcialmente con un líquido de densidad conocida, 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 de la densidad del líquido en el tubo, como la densidad se conoce, puede elaborarse una escala graduada en el fondo del tubo U calibrada ya en unidades de presión.

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

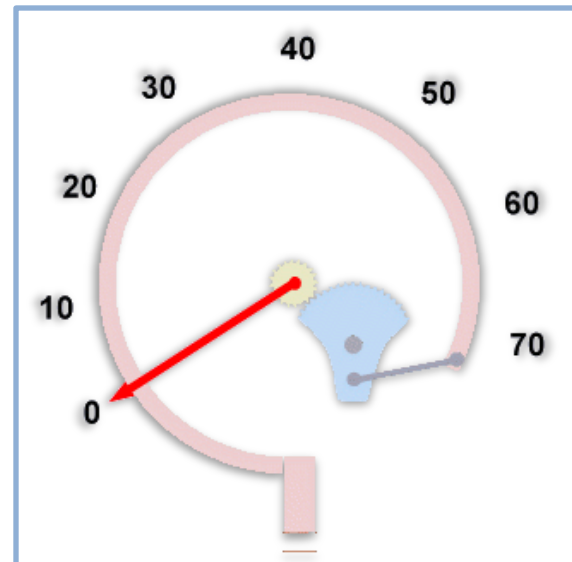


5. Aparatos de medida.

5.1 Manómetros.

Manómetro de Tubo Bourdon.

Estos manómetros tienen un tubo metálico e lástico, 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.



5. Aparatos de medida.

5.2 Medidores.

Tienen la función de medir el volumen consumido en un determinado periodo de tiempo (micromedición).

Según el principio de funcionamiento se pueden distinguir dos tipos:

- Volumétricos
- 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.



Los medidores que mayormente se usan son los velocimétricos, con caudales nominales entre 1.5 m³/h y 3.0 m³/h.

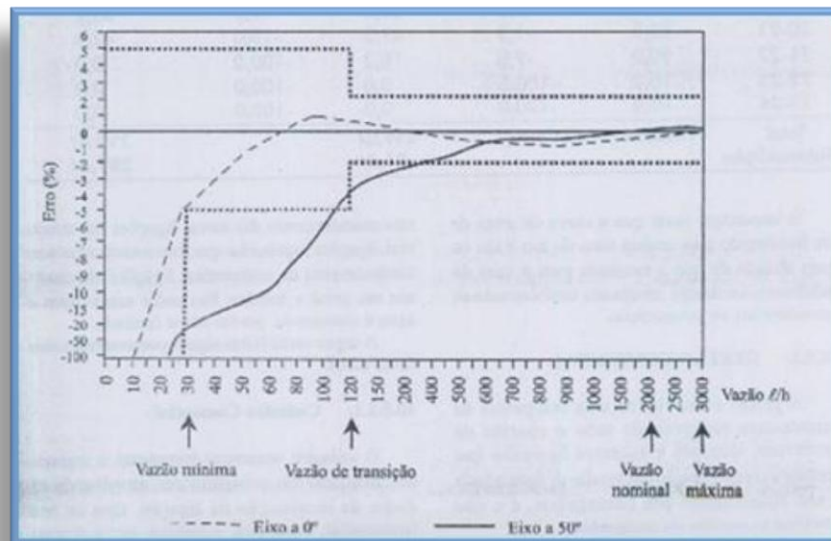
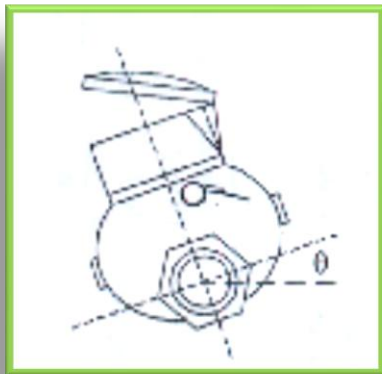
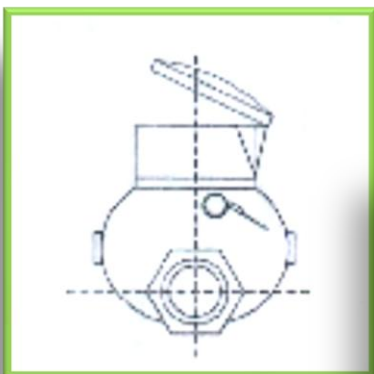
5. Aparatos de medida.

5.2 Medidores.

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°.



Se observa la clara diferencia de precisión de un medidor colocado correctamente frente a otro inclinado 50°.

5. Aparatos de medida.

5.2 Medidores.

Ejemplo de cálculo.

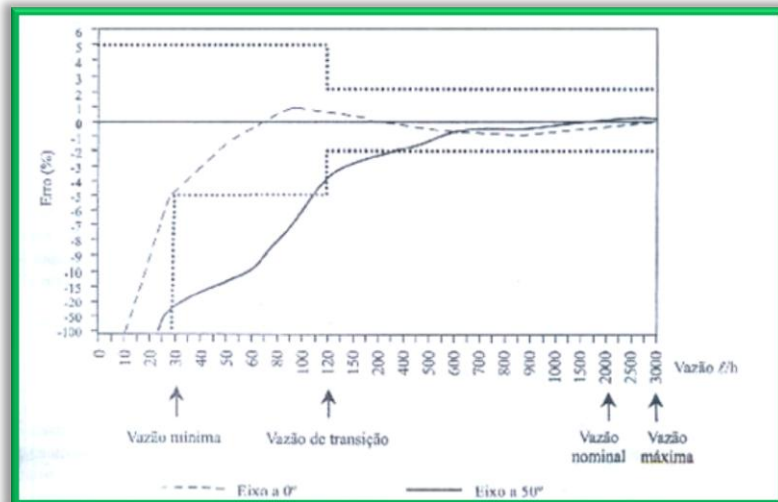
Una familia de 5 personas tienen un consumo promedio por persona de 200 L/día, es decir que consumen 1000 L/día. El primer gráfico presenta los caudales horarios a lo largo del día.

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 figura de la derecha.

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°.



5. Aparatos de medida.

5.3 Caudalímetros.

Los caudalímetros tienen la función de medir el caudal en una tubería (macromedición)

Las unidades de medida mas usuales son:

- m^3/h
- m^3/s
- L/s

Ya hemos visto algunos durante este taller como ser:

- Tubo Pitot
- Venturi

A esta lista le agregamos algunos mas:

- Velocimétricos
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos



5. Aparatos de medida.

5.3 Caudalímetros.

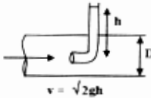
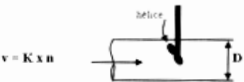
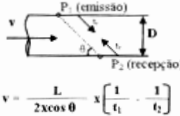
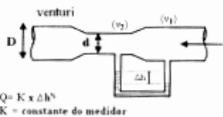
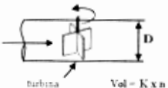
Diferencias entre caudalímetros velocimétricos y electromagnéticos:



5. Aparatos de medida.

5.3 Caudalímetros.

La tabla siguiente muestra las principales características de cada uno.

Tipo de Medidor	Descrição do Princípio de Funcionamento	Representação Esquemática	Instalação: Trecho Requerido		Precisão	Operação/Aplicação
			Montante	Jusante		
Tubo de Pitot	A velocidade é determinada através do diferencial de pressão entre dois pontos do Pitot, um deles no sentido oposto ao fluxo (impacto) e outro no sentido do fluxo.	 $v = \sqrt{2gh}$	10 a 20 D	5 a 10 D	$\pm 2\%$	Portátil, prático, para tubos sob pressão com $D \geq 100$ mm
Turbina ou Fluxímetro	A velocidade é determinada como uma proporção do número de rotações de uma hélice inserida no fluxo.	 $v = K \times n$	10 D	5 D	$\pm 2\%$	Portátil, prático, para tubos sob pressão com $D > 50$ mm. A inserção da haste e da hélice modifica a velocidade, que deve ser corrigida (bloqueio).
Eletromagnético	A lei de indução eletromagnética de Faraday rege a obtenção da velocidade do fluxo. Quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do fluxo, é gerada uma força eletromotriz proporcional à velocidade média do fluxo.	 $v = E / (B \times D)$ v = velocidade média E = força eletromotriz B = densidade do fluxo magnético D = diâmetro interno	5 D	0 D	± 0 a 1,2%	Não inserido no fluxo, não há perda de carga. Mede fluxos em grandes diâmetros com boa precisão. Normalmente é mais caro do que os demais medidores. Para toda a faixa de diâmetros.
Ultrassônico	A velocidade é calculada através da emissão de pulsos ultrassônicos no fluxo d'água e os correspondentes tempos de trânsito. Com estes valores, comparados com o tempo no líquido estacionário, determina-se a velocidade média do fluxo.	 $v = \frac{L}{2 \times \cos \theta} \times \left[\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right]$	10 D	5 D	± 1 a 2%	Não inserido, podendo ser facilmente instalado sem interromper o fluxo. Para toda a faixa de diâmetros.
Deprimogêneo	A determinação de vazão é feita medindo-se o diferencial de pressão provocado pela alteração na seção de escoamento (venturi) ou por um obstáculo (placa de orifício, bocal).	 $Q = K \times \Delta h^n$ K = constante do medidor	20 D	5 D	± 1 a 3%	Baixa perda de carga, pouca manutenção (não tem partes móveis) e longa vida útil. Os medidores de maiores diâmetros são caros e custosos para instalar.
Hidrômetro (velocimétrico)	O princípio dos medidores velocimétricos consiste na obtenção do volume de água que atravessa uma seção, proporcionalmente ao número de revoluções de uma turbina.	 $Vol = K \times n$	5D	2D	$\pm 2\%$	É o mais utilizado para medir o consumo nos imóveis. Ampla gama de tamanhos. Erros sensíveis para baixas vazões. Exige manutenção periódica (3 a 5 anos).

Tratamiento de agua. Planta de Aguas Corrientes.



1) Toma del Río



2) Desarenador



3) Bombas de baja



4) Tratamiento



5) Bombas de alta



**6) Aducción
y Distribución**

Agua Bruta

Algunas impurezas encontradas:

- Partículas suspendidas (arenas, arcillas, etc.)
- Algas (10 μm – 10 mm).
- Bacterias (1 μm – 10 μm).
- Virus (0,01 μm – 0,1 μm).

Parámetros de interés en la potabilización de aguas superficiales

- **Turbiedad** (capacidad de las partículas para dispersar la luz). Se mide en NTU.
- **Color** (capacidad de las partículas para absorber determinada longitud de onda).
- **Alcalinidad** (capacidad para neutralizar ácidos).
- **pH** (asociado al carácter ácido o básico del agua).
- **Sabor y olor** (puede ser causado por contaminante inorgánico o actividad microbiana, entre otros).
- **Temperatura** (es importante en las reacciones de tratamiento).



1) Toma del río



Es el punto de captación de las aguas.

**En el caso de AACC se toma del Río Santa Lucía.
Las represas de Paso Severino y Canelón Chico aportan a la presa de AACC.
La toma tiene rejas que impiden el pasaje de elementos de gran tamaño
como ramas, troncos, etc.**

2) Desarenador



Es una pileta donde decantan (o sedimentan por gravedad) las partículas más pesadas como ser las arenas.

Tiene por objetivo proteger los equipos de bombeo.

3) Bombas de baja



Toman agua del desarenador y la elevan hacia el tratamiento de agua.

4) Tratamiento



El tratamiento consiste en las siguientes etapas:

- **Coagulación**
- **Floculación**
- **Sedimentación**
- **Filtración**
- **Desinfección**



4) Tratamiento

Coagulación

Consiste en la adición de productos químicos para desestabilizar la carga negativa de las partículas presentes en el agua. El químico mas empleado es el Sulfato de Aluminio (Al_2SO_4). Puede presentarse en polvo o líquido. La preparación es con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y bauxita (Al_2O_3). En AACC se aplica en el canal Parshall o antes de los Accelerators. A veces se debe prealcalinizar el agua, porque las reacciones del agua con el sulfato consumen alcalinidad. También se utilizan polímeros como ayudante de coagulación.



4) Tratamiento



Floculación

Aglomera las partículas desestabilizadas en la etapa de la coagulación.

Con dicha aglomeración se forman coágulos más pesados que en la etapa posterior van a decantar.

Los floculadores pueden ser: mecánicos o hidráulicos.

Los mecánicos son de paletas o turbinas.

Los hidráulicos son de tabiques o chicanas.



4) Tratamiento



Sedimentación

Los coágulos ahora mas pesados llegan a grandes piletas donde pueden decantar o sedimentar por acción de la gravedad.

El agua clarificada se recoge al final y en la parte superior de la pileta por medio de vertederos triangulares

Los coágulos con gran parte de suciedad (bacterias por ejemplo) decantan y se recogen a en la parte inferior, formando los barros o lodos.

4) Tratamiento



Filtración

Es un proceso de remoción de partículas (en suspensión, microorganismos, etc.) que no hayan sedimentado en la etapa anterior. El agua decantada llega a un filtro donde pasa a través de un manto poroso que puede ser de arena y grava o también antracita – arena y grava. En esta etapa quedan atrapados en el manto gran parte de los microorganismos. El lavado de los filtros se realiza con agua filtrada con flujo ascendente.

4) Tratamiento



Desinfección

Consiste en la destrucción de los microorganismos y/o agentes patógenos que pueden causar enfermedades de transmisión hídrica.

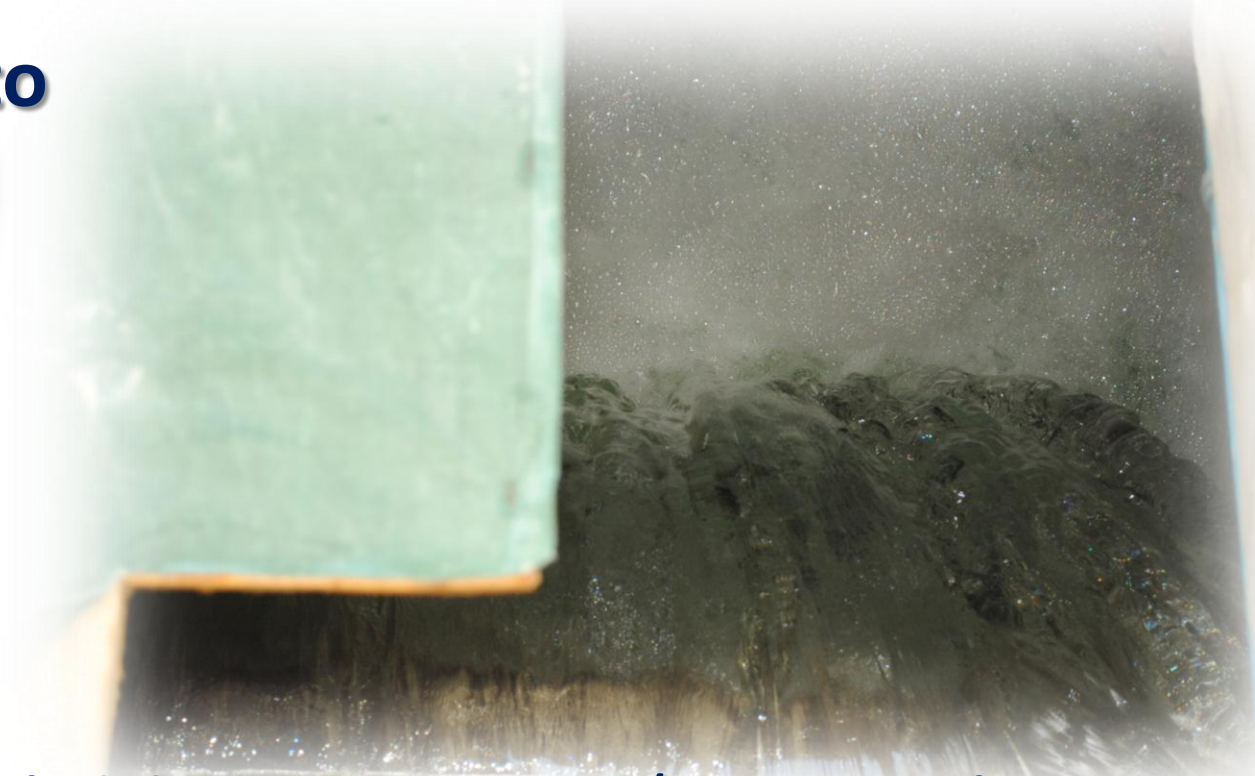
El desinfectante más empleado es cloro, que se puede agregar al agua como gas (efecto Venturi) o en solución (hipoclorito de sodio o calcio).

Tiene la gran ventaja de contar con efecto residual.

No se aconseja inyectarlo al agua bruta.

Otros desinfectantes son el ozono (O_3) y la luz UV.

Estos últimos no tienen efecto residual.



5) Bombas de alta



Elevan el agua tratada hacia la ciudad por intermedio de las Líneas de Aducción.

En el camino existen estaciones de bombeo, depósitos y estaciones de re-cloración.

Han realizado ésta presentación

Ing. JOSÉ SCAVONE

Ing. JUAN CATTANEO

WASHINGTON GALLO