

Caso práctico

Ahora que hemos comprendido mejor qué son los fluidos y cuáles son los principios físicos que los regulan, crees que serías capaz de dimensionar una red hidráulica? Miren está tan perdida como tú, y por eso va a volver a visitar a a Ainhoa. Es cierto que los cálculos en redes de agua son complejos, y Miren se está preguntando varias cosas:

¿cómo crees que se calcula un sistema hidráulico?

¿imaginas cómo hacemos para controlar y monitorizar las redes de agua?

¿como supondrás la energía contenida en las redes de agua no es infinita, imaginas como medimos la energía que el agua va perdiendo?

**¿sabes qué pasa si interrumpimos bruscamente un flujo de agua en una tubería?
¿crees que eso puede suponer un problema?**

¿ imaginas cuántas personas diferentes deben interpretar un mismo pliego? ¿crees que habría que homogeneizar el lenguaje que se utiliza?

**¿cómo crees que se puede comercializar las características de una tubería concreta?
¿ es necesario inventar una codificación?**



Materiales formativos de FP Online propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional.

[Aviso Legal](#)

1.- Principios físicos en redes de agua.

Caso práctico

Miren sigue sin comprender bien los principios físicos que hay detrás del diseño de una red, y esto no le deja dormir tranquila. Así que ha decidido volver a visitar a Ainhoa, para ver si esta vez consigue aclararse.

- Hola Ainhoa
- Hola Miren
- Oye, sé que el principio de Bernoulli es lo que define el fenómeno físico de un flujo de agua a través del principio de conservación de la masa. Pero creo que además este principio es el que podemos aplicar para resolver la mayoría de dimensionados de las redes no?
- El buen Bernoulli, se quedó a gusto allí por el siglo XVII. EL principio de Bernoulli ayuda a desarrollar casi todos los principios físicos de las redes de agua, porque sirve para la interpretación de la teoría de conservación de masa y también para el principio de la teoría de conservación de la energía, que es el fundamento principal de las redes hidráulicas a presión.

¿cómo crees que se calcula un sistema hidráulico?

Para poder comprender mejor los fenómenos que se dan dentro de las redes de agua, vamos a estudiar algunos fenómenos que son fundamentales para su comprensión. Las redes de agua, tanto las de abastecimiento como las de saneamiento, se basan en el flujo de fluidos, en nuestro caso el agua. Más adelante estudiaremos las singularidades de cada una de ellas, pero fundamentalmente en ambos casos tenemos un flujo de agua en dirección longitudinal de las tuberías.

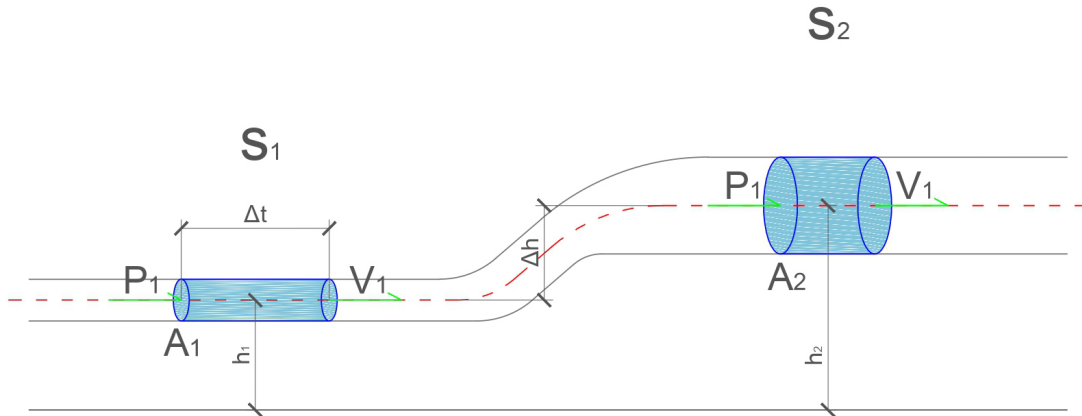
Como hemos visto en el tema anterior, los flujos de agua se basan en el principio de conservación de la masa. Este principio determina que si comparamos dos puntos de la tubería en el mismo recorrido, la masa que circula por el punto primero y la que circula por el segundo deben ser la misma, puesto que dicha cantidad de agua no puede perderse. De este principio podemos desarrollar el principio de Bernoulli, y gracias a éste definir el consumo energético en la red, lo que nos permitirá diseñar y optimizar redes en base al consumo energético de las mismas.

1.1. El principio de Bernoulli.

El principio de Bernoulli, fue definido en el siglo XVIII por el matemático francés Daniel Bernouille, y supuso un gran avance en el campo de la hidrodinámica. Este principio determina que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

Al definir la conservación de la energía como fundamento del sistema se puede establecer que, cuando comparamos dos puntos del mismo, la energía contenida en el punto A y la energía contenida en el punto B deben ser la misma. Esto se conoce a su vez como el principio de conservación de la energía y permite relacionar todos los puntos de la red entre sí, comparando el balance energético existente entre varios de ellos.

Por lo tanto el principio de Bernoulli nos da dos claves para la interpretación de las redes hidrodinámicas. Si comparamos dos puntos de un sistema, podemos establecer que:



Licencia: [CC0](#)

- La cantidad de masa de agua que circula por el punto S1, será la misma que circulará por el punto S2
- El balance energético del sistema es constante, por lo que la energía contenida en el punto A y la energía contenida en el punto B, son la misma, aunque tengan diferentes componentes.

[Principio de conservación de la masa](#) [Principio de conservación de la energía](#)

Principio de conservación de la masa

Si analizamos el principio de Bernoulli desde el punto de vista de la conservación de la masa, como ya hemos mencionado, podemos concluir que:

$$m_1 = m_2$$

$$V_1\rho = V_2\rho$$

$$A_1 \times v_1\Delta t = A_2 \times v_2\Delta t$$

$$\frac{\pi\phi_1^2}{2} \times v_1\Delta t = \frac{\pi\phi_2^2}{2} \times v_2\Delta t$$

$$v_1 \times \phi_1^2 = v_2 \times \phi_2^2$$

Partiendo del principio de conservación podemos decir que la masa del punto debe ser igual a la masa del punto 2. Para calcular esa masa, conociendo las dimensiones de la tubería, debemos multiplicar el volumen del cilindro 1 por su densidad y el volumen del cilindro 2 por su densidad. Al tener la misma densidad a ambos lados este componente desaparece y podemos concluir que el volumen del punto 1 debe ser igual al volumen del punto 2.

Como podemos ver en el diagrama para calcular el volumen de los cilindros debemos multiplicar la superficie A por la longitud. Aunque desconocemos la longitud exacta sabemos que será la velocidad del agua en cada punto multiplicada por la diferencia de tiempo que transcurre en el momento de la comparativa, que será la misma para el punto A y el punto B. En conclusión podemos establecer, simplificando la fórmula que, la superficie del punto 1 por su velocidad es igual a la superficie del punto 2 por su velocidad.

Por último vemos que esa superficie es una circunferencia y si dentro de la fórmula de la superficie de la circunferencia sustituimos el radio de la misma por la mitad del diámetro y simplificamos la fórmula, podemos concluir que la velocidad está relacionada con el cuadrado del diámetro. En conclusión se establece una relación indirecta entre el cuadrado del diámetro de la tubería y la velocidad de circulación del flujo. A más velocidad, menor diámetro y a menor velocidad, mayor diámetro

Principio de conservación de la energía

Si analizamos el principio de Bernouille desde le punto de vista de la conservación de la energía, como ya se ha mencionado, podemos concluir que:

$$\Sigma E_1 = \Sigma E_2$$

$$E_{Cinética1} + E_{Potencial\ de\ altura1} + E_{Potencial\ elástica1} = E_{Cinética2} + E_{Potencial\ de\ altura2} + E_{Potencial\ elástica2}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + P_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + P_2$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

Partiendo del principio de conservación de la energía, podemos decir que la energía contenida en el punto 1 y la contenida en el punto 2 son la misma. Si despreciamos los efectos de la energía térmica y analizamos sólo la energía mecánica de cada punto, veremos que en ambos puntos tenemos tres tipos de energía: energía cinética, energía potencial gravitatoria o de altura y energía potencial elástica o presión hidráulica. Mediante esta comparativa podemos analizar el valor de la energía en julios o en mca.

Los mca o metros de columna de agua es una unidad de energía que permite saber qué altura puede alcanzar un caudal de un fluido, en este caso agua, gracias a la energía potencial contenida en el mismo. Son muy empleados en cálculos de redes a presión por su fácil aplicación directa entre el cálculo y el diseño de la red. Si decimos que un flujo de agua tiene 5mca quiere decir que contiene energía suficiente para poder llegar (sin contemplar las pérdidas de carga) a los 5 metros de altura.

Para analizar la ecuación en mca debemos dividir todos los términos de ambos lados entre la mg (masa por gravedad), en el caso concreto de la Presión esto equivale a dividir la presión por el peso específico del fluido. De esta forma la ecuación queda muy simplificada y la energía potencial gravitatoria se puede interpretar directamente como la altura en metros, lo que nos ayuda enormemente al análisis de las redes desde el punto de vista de diseño.

La conclusión principal valorando que la altura de ambos puntos sea la misma es que la velocidad y la presión son indirectamente proporcionales, a mayor velocidad, menor presión. Si analizamos conjuntamente las conclusiones extraídas de los dos principios de conservación, vemos también que el diámetro se relaciona indirectamente con la presión, es decir a mayor diámetro, menor presión

Debes conocer

Un **metro de columna de agua** es una unidad de presión que equivale a la presión ejercida por una columna de agua pura de un metro de altura sobre la gravedad terrestre. Su símbolo es **m.c.a.** o **mca**, y es un múltiplo del milímetro columna de agua o mm.c.a.

Es una unidad del Sistema técnico de unidades, pero no del Sistema internacional de unidades, por lo que su uso está decayendo, aunque se utiliza todavía en agronomía, fontanería y calefacción. Las principales equivalencias con otras unidades de presión se muestran a continuación:

- 1 mca = 9 806.38 Pa
- 1 mca = 100 cm.c.a = 1 000 mm.c.a.
- 1 mca = 0.1 kgf/cm²
- 1 mca = 1.422 PSI
- 1 mca = 1000 kgf/m²
- 1 atm = 10.33 mca
- 1 bar = 10.2 mca
- 1 kgf/cm² = 10 mca
- 1 PSI = 0.704 mca

La presión relativa en el fondo de una columna de agua de 1 m de altura es:

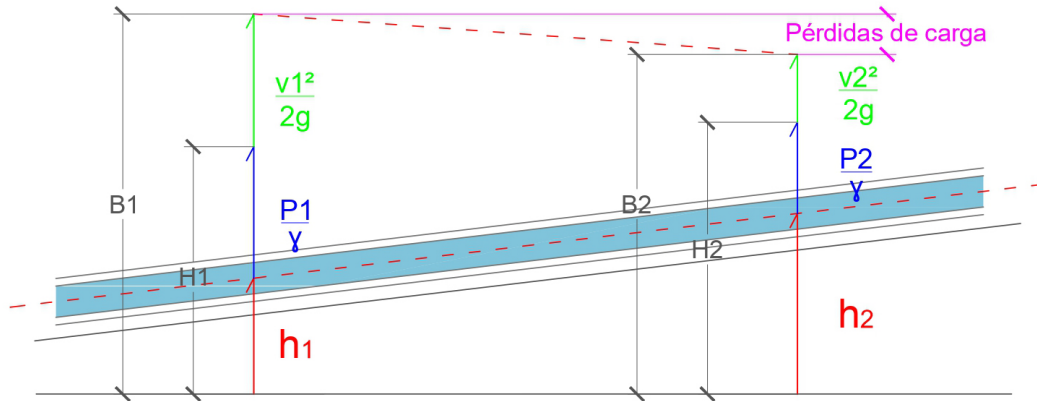
- $P = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 1 \text{ (m)} \cdot 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} = 9\,806.65 \text{ Pa}$

Como regla mnemotécnica, se considera que debajo del agua la presión aumenta una atmósfera por cada 10 m de profundidad.

1.2. Aplicaciones del principio de Bernoulli.

Las aplicaciones del principio de Bernoulli son múltiples, pero puede que la más importante para nosotros sea la que nos permite relacionar la altura de un flujo de agua con su velocidad y su presión unitaria. Esto nos permite de forma sencilla hablar de la altura piezométrica, altura geométrica y altura total.

La altura geométrica sería la cota a la que se encuentra el eje de la sección de tubería analizada, es decir h . La altura piezométrica analiza la componente de energía potencial elástica o presión y la componente de la velocidad analiza la energía cinética del flujo de agua en ese punto.



Altura piezométrica, altura geométrica y altura global Pérdidas de carga en redes de agua

Altura piezométrica, altura geométrica y altura global

Como hemos visto en la aplicación del principio de la energía, si adaptamos la ecuación a mca, podemos ver claramente que la h es la altura geométrica por coincidir con la cota real de la ubicación de esa sección de flujo. Las componentes derivadas de la presión y la velocidad serían, por lo tanto la energía que contiene ese flujo de agua. Distinguimos la componente piezométrica o derivada de la presión de la de la velocidad, porque en general para redes de agua en las que la velocidad media del flujo es de 1,5 m/s el componente de velocidad es 100 veces más pequeño que el componente de presión por lo que la diferencia entre la altura piezométrica y la altura global es tan pequeña que podemos despreciarla.

De tal forma la altura piezométrica sería la resultante H y la altura global la resultante B , siendo la altura geométrica la h o también llamada z , la cota real a la que se encuentra el eje de la tubería en esa sección.

Pérdidas de carga en redes de agua

Hasta ahora hemos analizado el principio de Bernoulli sin tener en cuenta las pérdidas de carga producidas por la fricción de las tuberías, pero es evidente que en realidad la energía de la red disminuye conforme el agua circula debido a las pérdidas por la fricción con las tuberías (pérdidas globales) y las pérdidas de carga debidas a los aparatos y elementos singulares de la red, como una llave de corte (pérdidas puntuales). De esta forma si comparamos el punto 1 con el punto 2 veremos que la suma total de B_1 y la suma total de B_2 no son iguales, debido a que se dan esas pérdidas de carga. La diferencia entre B_1 y B_2 son las pérdidas de carga en el recorrido entre el punto 1 y el punto 2.

Pendiente Hidráulica

La pendiente hidráulica equivale a las pérdidas de carga de un tramo de red. Las pérdidas de carga globales pueden calcularse para un tramo de un metro lineal de tubería, de tal forma que obtendríamos las pérdidas de carga unitarias. Estas pérdidas nos permiten comprobar a modo de parámetro orientativo la pérdida global de carga de un tramo de tubería con las mismas condiciones de diseño o muy similares, sólo conociendo la longitud de dicha tubería y sus cambios de cota. Por lo que la pérdida de carga unitaria es fundamental para el diseño de redes. Las pérdidas de carga puntuales, se dan en elementos singulares de la red, como válvulas, bombas y demás. Estas pérdidas representan la pérdida de energía resultante en el flujo cuando atraviesa el elemento. Suelen ser mucho mayores que las pérdidas de carga globales y están localizadas en un punto físico concreto.

Las pérdidas de carga habituales en redes de agua están entre los siguientes valores:

- Instalaciones urbanas e interurbanas: 1-5 mca/km
- Instalaciones interiores: 10-50 mmca/km

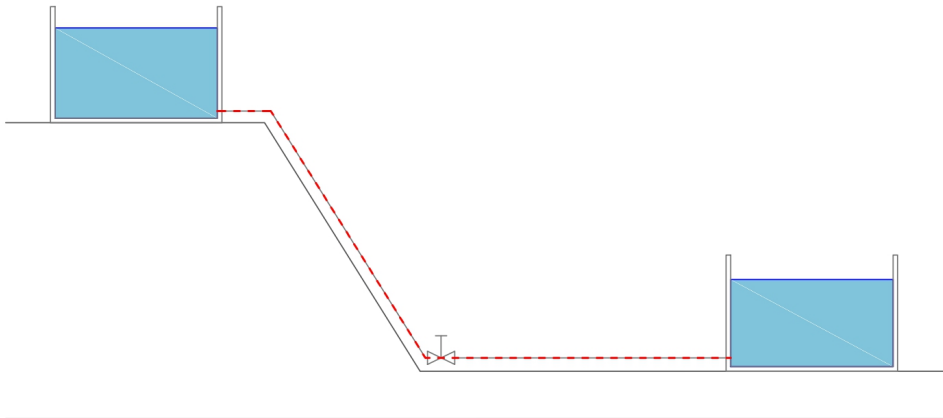
1.3. Aplicación gráfica de alturas geométricas, piezométricas y totales

Vamos a analizar el flujo por gravedad entre dos depósitos para comprender mejor los conceptos de altura piezométrica, altura geométrica y altura global. Disponemos de dos depósitos unidos por una red de tubería que trabaja exclusivamente por gravedad. La red de tuberías consta de un único conducto con una llave de corte en medio y de dos tramos, uno descendente y otro horizontal antes y después de la válvula de corte.

[Línea de alturas geométricas](#) [Línea de alturas totales](#) [Línea de alturas piezométricas](#) [Pérdida total de energía](#)

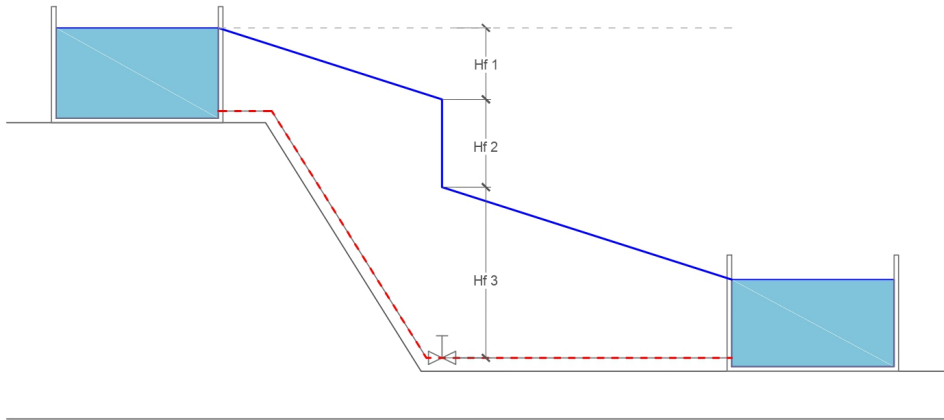
[Presión de la red](#)

Línea de alturas geométricas



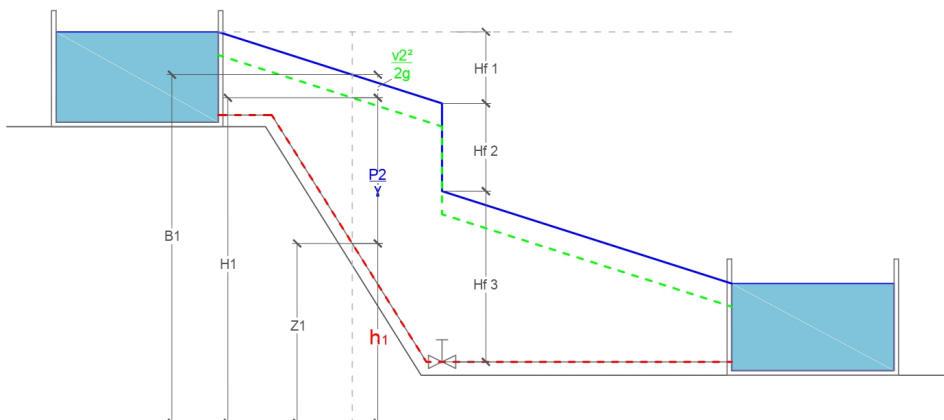
La línea de alturas geométricas corresponde al trazado físico de la tubería y por lo tanto es la línea de cota de todos los puntos de la red. Esta línea nos sirve para determinar la posición en altura de cada punto de la red. Es en esencia una medida constructiva del trazado de la propia red.

Línea de alturas totales



La línea de alturas totales comprende la pérdida línea de carga. Si no existen elementos singulares es la resultante de trazar una línea descendente entre la cota superior y la pérdida de carga global. En este caso concreto, tenemos una válvula que supone una pérdida de carga puntual además de las pérdidas globales. Por eso podemos ver como en el punto en el que está ubicada la válvula tenemos una pérdida puntual muy significativa.

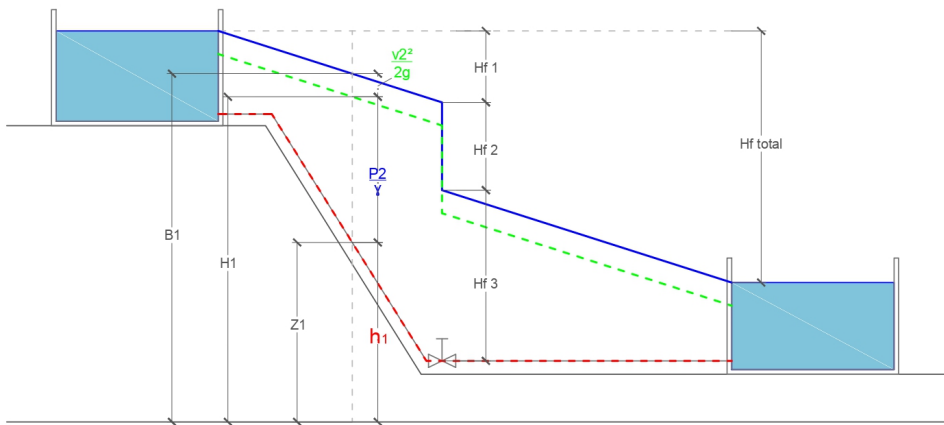
Línea de alturas piezométricas



La línea de alturas piezométricas es una línea paralela a la línea de alturas totales por debajo de la línea de alturas totales. La distancia entre ambas líneas es la resultante de la componente cinética de la energía contenida en el fluido. Debido a que la

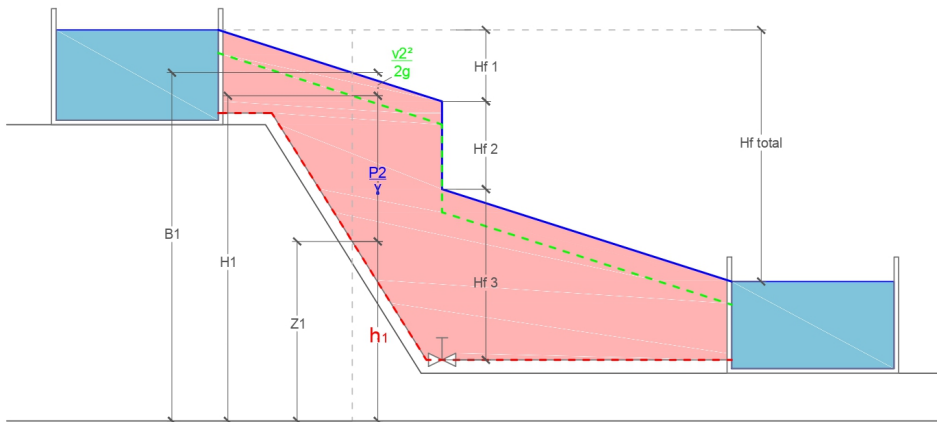
componente cinética es de en torno a 100 veces inferior a las componentes de altura y presión se suele despreciar con frecuencia por ser una diferencia muy pequeña. Si dibujamos a escala el esquema propuesto podemos ver que la línea de alturas piezométricas y la línea de alturas totales prácticamente se superponen. Sin embargo en este caso para comprender bien la diferencia entre ambas hemos exagerado esta componente.

Pérdida total de energía



La pérdida total de energía o H_f es la suma de las pérdidas de carga totales y el cambio de cota entre los dos depósitos. Si deseamos comparar la pérdida entre dos puntos intermedios debemos trazar la vertical sobre esos dos puntos y comparar la diferencia de altura en ambos hasta línea de alturas totales o piezométricas, según el modelo con el que queramos trabajar.

Presión de la red



La presión resultante de la red es la superficie que encontramos entre la línea de alturas geométricas y la línea de alturas piezométricas. Esta superficie nos permite medir un valor vertical de presión total en toda la red. Mientras la superficie resultante esté enteramente por debajo de la línea de alturas piezométricas, la presión es positiva. Si hay alguna parte de la superficie que esté por encima de la línea de alturas piezométricas esas zonas tendrán una presión negativa. En resumen, siempre que el trazado de la línea de alturas geométrica se encuentre en todo su recorrido debajo de la piezométrica sólo tendremos presiones negativas. En aquellos tramos en los que la línea de alturas geométrica supere la de la línea piezométrica tendremos presiones negativas. Las presiones negativas son perjudiciales para el buen funcionamiento de la red y debe corregirse, bien modificando el trazado de la instalación, es decir la línea de alturas geométricas para asegurar que siempre esté por debajo de la línea piezométrica, bien introduciendo pérdidas de carga puntuales (conos reductores, válvulas de seccionamiento....) que hagan que se modifica la línea de alturas piezométricas.

Vídeo explicativo de línea de alturas geométricas, piezométricas y totales

<https://www.youtube.com/embed/FGKT07XRjB8>

1.4. Ejemplo resuelto I: flujo de agua por gravedad entre dos depósitos.

Ejercicio Resuelto

Si disponemos dos depósitos comunicados por una red que funciona por gravedad, como podemos observar en los diagramas, podemos tener problemas si la altura piezométrica está por debajo de la altura geométrica. En estos casos tenemos zonas de presión negativa. Vamos a analizar las diferentes casuísticas:

Circulación a gravedad por debajo de la altura piezométrica

Circulación a gravedad por encima de la altura piezométrica

Solución I: Válvula de regulación a la llegada del segundo depósito

Solución II: Válvula de regulación a la salida del primer depósito

Presión máxima

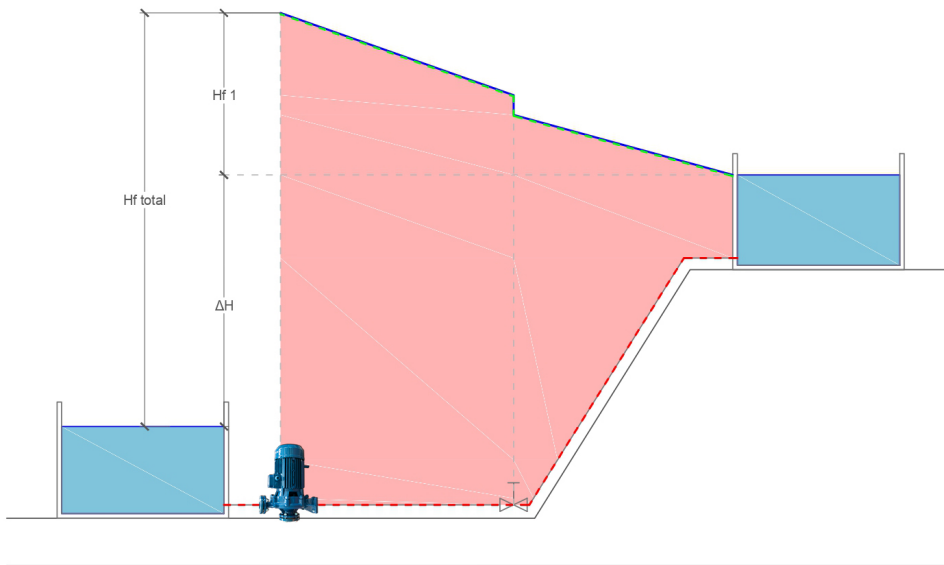
Para saber más

<https://www.youtube.com/embed/WcC8RlJR7dU>

1.5. Ejemplo resuelto II: flujo de agua por bombeo entre dos depósitos.

Ejercicio Resuelto

Si disponemos de dos depósitos comunicados por una red, pero el segundo depósito está más alto que el primero, veremos que es necesario introducir un equipo de bombeo. Teniendo en cuenta que la energía cinética del agua contenida en el primer depósito será nula, que por la cota a la que se ubica (inferior al segundo), su energía potencial también será nula y que los depósitos son elementos que generalmente no trabajan a presión, es decir esta también es nula. La energía contenida en el agua del primer depósito es nula por definición. Por lo tanto la bomba que hemos introducido a la salida del primer depósito es la responsable de aportarla energía necesaria para compensar la altura piezométrica que en este caso sería negativa por ser más alta aguas arriba. Si observamos como queda dispuesta la línea de alturas piezométricas, veremos que la bomba debe aportar energía para elevar el flujo de agua en la altura necesaria y además compensar las pérdidas de carga producidas en la red. En este caso la presión máxima de la red está a la salida de la bomba.



2.- Medición de parámetros en redes de agua.

Caso práctico

- Entonces, los ejercicios de dimensionado casi se pueden resolver de forma gráfica. Basta con que la presión sea siempre positiva y controlar las presiones máximas. Es decir que en definitiva, sólo hay que asegurar que la línea de alturas geométricas, quede por debajo de la línea piezométrica. Pero cómo se controla el tema de la presión?
- Buena pregunta Miren. En general en todos los tipos de instalaciones, existe lo que los ingenieros llamamos instrumentación y control. Se trata de sistemas auxiliares de válvulas y medidores, que hoy en día están en general automatizados y monitorizados, de tal forma que se conoce en tiempo real los parámetros principales de control.
- Entiendo, y en este caso cuáles son los parámetros que se deben valorar?
- Pues, principalmente la presión, que se mide con manómetros, el caudal, que se mide con caudalímetros y la calidad del agua, que se mide con equipos específicos.
- Este último creo que no es de mi competencia porque se encarga el equipo químico....

¿imaginas cómo hacemos para controlar y monitorizar las redes de agua?

En redes de agua es primordial poder medir y controlar los principales parámetros. Tradicionalmente los instrumentos de medición eran poco precisos o inexistentes, pero con el avance de la tecnología ha sido posible ir introduciendo instrumentos específicos cada vez más precisos, hasta el punto en que hoy en día es posible monitorizar en tiempo real las redes de agua.

Por regla general analizaremos los siguientes parámetros:

Presión Caudal Calidad del agua

Presión

Como ya hemos visto en la anterior unidad la presión o La presión (símbolo: p o P), es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. A la hora de monitorizar la presión controlamos la fuerza que el agua que circula por las tuberías ejerce en las paredes de la misma. De esta forma podemos conocer en tiempo real el trabajo que deben soportar las paredes de los diferentes tramos de tubería y si esta presión aumenta por encima de la presión máxima admisible podemos aliviar la presión mediante el accionamiento automático de válvulas aliviadoras o reguladoras de presión. Este tipo de mediciones se hacen mediante manómetros y permiten controlar las sobrepresiones que podrían dañar el buen funcionamiento de las redes y aún más relevante, detectar posibles fugas.

Caudal

El caudal es un parámetro que mide la cantidad de litros por segundo que pasan por una determinada sección de tubería. Por lo tanto se trata de una unidad de medida que permite cuantificar el flujo del agua a lo largo de las tuberías y que en definitiva nos permite conocer el consumo de agua de ese tramo de la red. Para poder medir el caudal se utilizan los caudalímetros, mecanismos que mediante propiedades mecánicas, electromagnética o ultrasónicas miden volumen o velocidad del flujo. Los caudalímetros que miden volumen suelen ser de funcionamiento mecánico pero no son útiles por ofrecer mucha resistencia, y por lo tanto muchas pérdidas de carga en la tubería. Es por eso que este tipo de medición suele hacerse cuando se busca una alta precisión y no se trabaja con caudales grandes. En el resto de casos el método más habitual para conocer el caudal de una determinada sección es medir la velocidad del flujo, lo que en conjunto con el diámetro de la sección permite conocer un caudal y estimar una cantidad de agua.

Calidad del agua

Los elementos que miden la calidad del agua son más complejos que los dos anteriores. Se trata de dispositivos diseñados para detectar alteraciones químicas en el agua, sólidos en suspensión o niveles de substancias específicas que podrían ser nocivas para el consumo humano. Los parámetros medidos más habitualmente son: el cloro, el ph, la conductividad, los sólidos en suspensión o la turbiedad del agua. Estos mecanismos son muy complejos y a menudo trabajan con sensores mucho más sofisticados, programados para detectar alteraciones de las posibles corrientes eléctricas generadas por la polarización de las moléculas del agua o con materiales que son sensibles a modificar su resistencia a la tensión ante alteraciones químicas, por ejemplo.

Para saber más

Vídeo explicativo de mediciones de calidad en el agua

<https://www.youtube.com/embed/Les6BNMnVRI>

2.1. Mediciones de presión.

Los elementos mecánicos principales utilizados para medir la presión, son como ya hemos dicho los manómetros. Estos dispositivos se dividen en tres grandes grupos:

1. **Manómetros mecánicos:** son aquellos que mediante una serie de piezas y materiales específicos miden la diferencia de presión entre la parte interior de las tuberías y un fluido de referencia. El resultado es la medición de una diferencia de presión entre la presión del fluido de las tuberías y la presión atmosférica.
2. **Transductores piezoeléctricos:** se basan en la diferencia de presión ejercida por un estrechamiento de la red, que a su vez produce modificaciones en la orientación de los dipolos de las moléculas de agua y por lo tanto una pequeña diferencia de tensión eléctrica que está directamente relacionada con la presión ejercida.
3. **Manómetros de presión absoluta:** se basan en un tubo de vacío absoluto para medir la presión ejercida por la red, de forma que son instrumentos de medida muy precisos basados en galgas extensiométricas. En este caso la presión no se mide por diferencia con la de un fluido externo como en el caso de los manómetros mecánicos.



2.1.1. Manómetros mecánicos diferenciales.

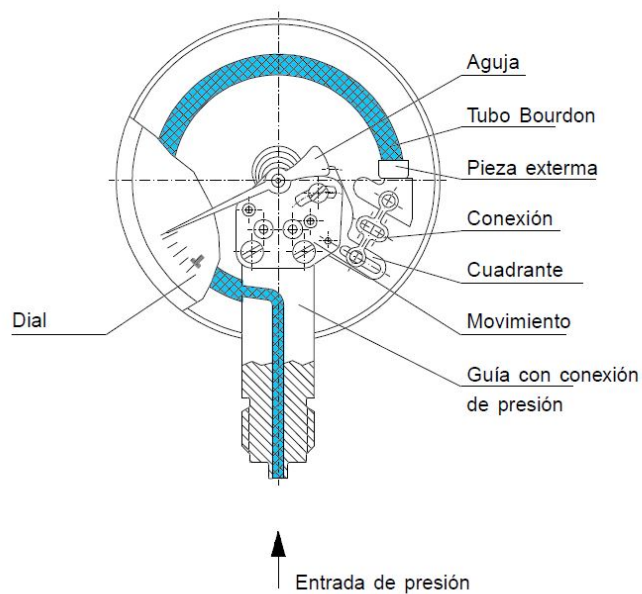
Los manómetros mecánicos son aquellos que miden la presión diferencial mediante algún medio o pieza mecánica que permite conocer la presión ejercida en un extremo y traducirla a una aguja que indica el nivel de presión en una esfera. Estos manómetros son los más antiguos que se utilizan pero sus sistemas de medición han variado mucho con su desarrollo y aplicaciones industriales. Se pueden distinguir entre: Manómetros de Bourdon, manómetros de membrana, manómetros de diafragma, manómetros de muelle mecánico o aneroides, manómetros de dos ramas o manómetros de émbolo.



[pigsels \(CC0\)](#)

[Manómetros de Bourdon](#) [Manómetros de diafragma](#) [Manómetros de cápsula](#) [Manómetros diferenciales](#)

Manómetros de Bourdon



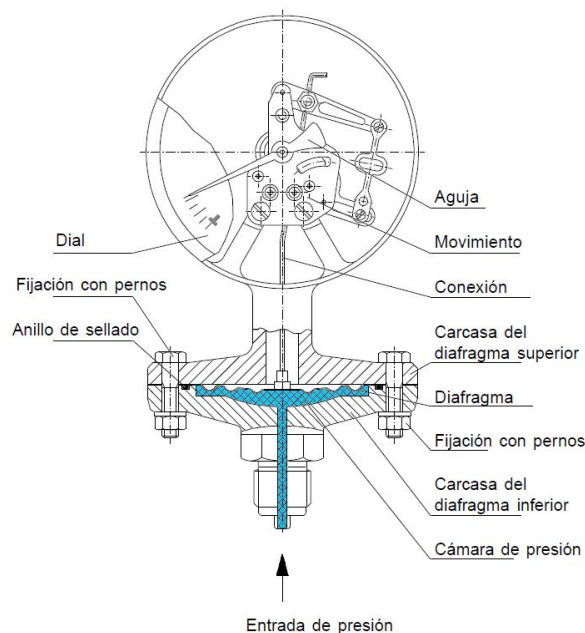
[Wika](#) (Todos los derechos reservados)

Se conocen por el nombre de Bourdon debido al apellido del ingeniero francés que definió en el siglo XIX el fenómeno conocido como tubo de Bourdon, principio gracias al cual funcionan estos dispositivos mecánicos. También son conocidos como manómetros elásticos, estos manómetros incorporan elementos de medición que se deforman elásticamente según la influencia de la presión. Los manómetros mecánicos se fabrican con tubo de Bourdon, diafragma, fuelle y elementos espirales, siendo diferentes según las necesidades. Los elementos de medición se realizan de aleaciones de cobre, aleaciones de acero o se fabrican con materiales especiales de acuerdo a las aplicaciones de medición específicos. Las presiones sólo se pueden medir junto con una presión de referencia. La presión atmosférica sólo sirve como presión de referencia y el manómetro muestra en cuánto es superior o inferior la presión medida en relación a la presión atmosférica otorgada. La presión se muestra en márgenes de medición estándares sobre un ángulo de 270 grados en el dial.

Los tubos de Bourdon son tubos de forma circular con una sección cruzada oval. La presión del medio actúa en el interior del tubo y como resultado la sección cruzada oval se convierte en casi redonda. Debido a que se produce una curvatura de la tensión del anillo del tubo, éste dobla el tubo de Bourdon. El final del tubo, que no es fijo, se mueve. Por lo que este movimiento es una medición para la presión. Este movimiento lo indica la aguja. Los tubos de Bourdon doblan un ángulo de aproximadamente 250°, que se utiliza para presiones de hasta 60 bar aproximadamente.

Para presiones altas se utilizan tubos de Bourdon con un número de espirales superpuestas del mismo diámetro (ej. Espirales helicoidales) o espirales con forma helicoidal (ej. muelles helicoidales) en un nivel. Los tubos de Bourdon sólo pueden protegerse contra la sobrecarga hasta una extensión limitada. Para operaciones de medición con una dificultad particular los manómetros pueden mejorarse intercalando un sello químico, como separación o sistema de protección. Los márgenes de presión están entre 0,6 y 4000 bar con una lectura de precisión (o clase) desde 0,1 a 4,0 %.

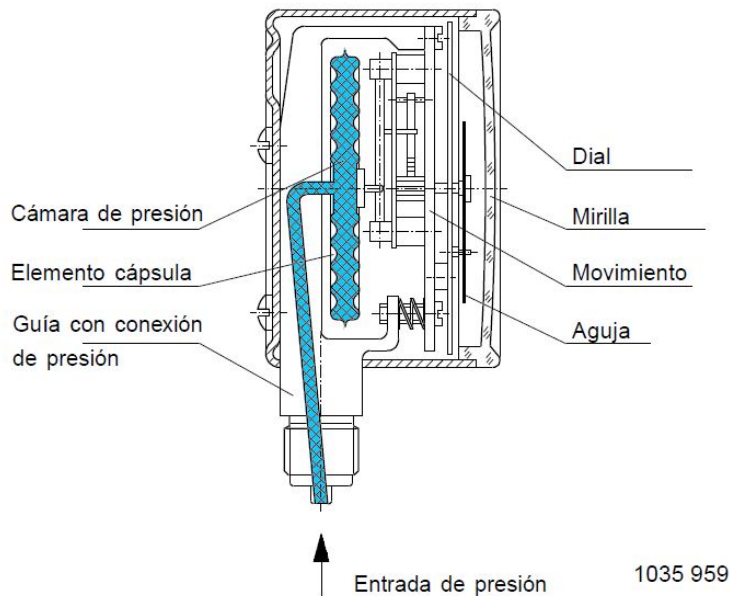
Manómetros de diafragma



[Wika](#) (Todos los derechos reservados)

Los elementos de diafragma tienen forma circular y membranas onduladas. Estas están sujetas alrededor del borde entre dos bridas o soldadas y sujetos a la presión del medio actuando en un lado. La desviación causada de esta forma se utiliza como medición para la presión y es mostrada por la aguja indicadora del instrumento. En comparación con los tubos Bourdon, estos elementos de diafragma tienen una fuerza activadora relativamente alta y debido a ello la sujeción en su periferia del elemento es insensible a la vibración. El elemento de diafragma puede someterse a una fuerte sobrecarga a través de los puntos de aceptación (al traer el elemento de diafragma contra la brida superior). Además, el instrumento de medición puede protegerse contra elementos extremadamente corrosivos cubriéndolo con un material especial. Las conexiones a proceso pueden ser bridas de conexión abiertas y los enchufes de purga pueden ser integrados para medir elementos muy viscosos, impuros o cristalizables. Los márgenes de presión están entre 0 ... 16 mbar y 0 ... 40 bar en clase precisión desde 0,6 a 2,5 %.

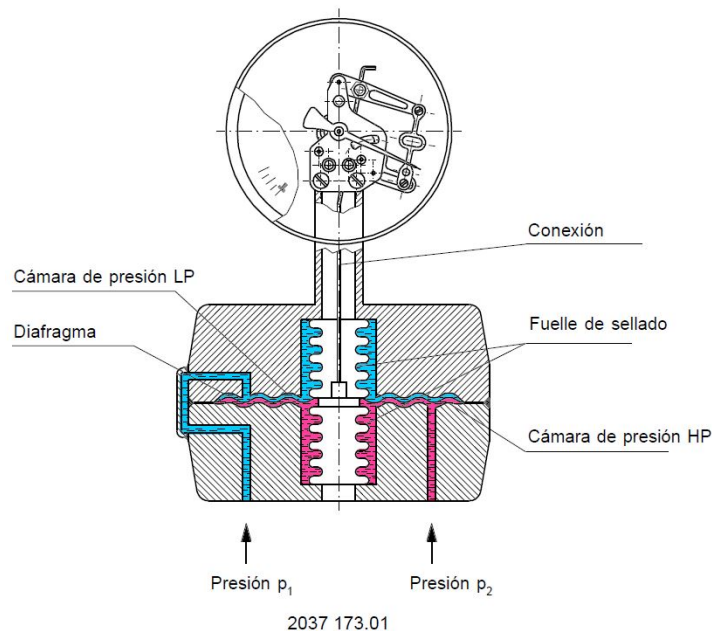
Manómetros de cápsula



[Wika](#) (Todos los derechos reservados)

El elemento de cápsula comprende dos membranas de forma circular, membranas onduladas selladas fuertemente alrededor de su circunferencia. Los actos de presión en el interior de la cápsula y el movimiento que genera es mostrada por la aguja como medida de la presión ejercida. Los manómetros con elementos de cápsula son especialmente apropiados para la medición de fluidos gaseosos y presiones bajas. Es posible una protección de sobrecarga con determinados límites. La presión ejercida en el interior de la cápsula es transmitida mecánicamente al mecanismo. Los márgenes de presión están entre 2,5 mbar y 0,6 bar en la clase de precisión 0,1 a 2,5.

Manómetros diferenciales



[Wika](#) (Todos los derechos reservados)

La diferencia entre las dos presiones se determina directamente y se muestra en el dial del manómetro. De nuevo, aquí también pueden ser aplicados todos los elementos de medición de sobrepresión y los principios de medición conocidos. Las dos cámaras medias selladas están separadas por el elemento de presión o los elementos de medición, respectivamente. Si ambas presiones de funcionamiento son iguales, el elemento de presión no puede moverse y por lo tanto no se puede indicar la presión. Sólo se da una lectura de presión con diferencial cuando una de las presiones es superior o inferior. Las presiones de diferencial inferiores puede medirse directamente en caso que sean presiones estáticas elevadas. Con los elementos de diafragma se consigue una capacidad de sobrecarga muy alta. Debe observarse la presión estática permisible y la capacidad de sobrecarga en los lados y . La transmisión del movimiento del elemento de medición y la indicación de presión es la misma que en los instrumentos de sobrepresión ya descritos en la mayoría de casos. Los márgenes de presión están entre 16 mbar y 25 bar en la clase de precisión 0,6 a 2,5.

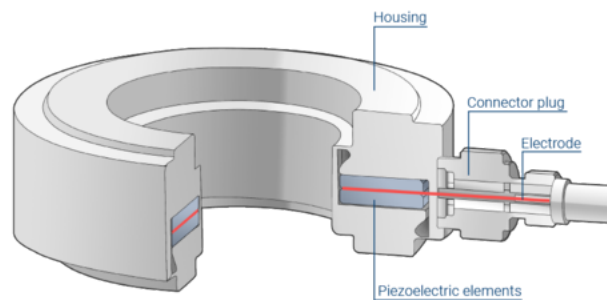
2.1.2. Transductor piezoeléctrico.

Los manómetros piezoeléctricos o transductores piezoeléctricos son sensores que se basan en las propiedades piezoeléctricas de un material de medición. La piezoelectricidad (del griego piezein, "estrujar o apretar") es un fenómeno que ocurre en determinados cristales que, al ser sometidos a tensiones mecánicas, en su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

Este fenómeno también ocurre a la inversa: se deforman bajo la acción de fuerzas internas al ser sometidos a un campo eléctrico. El efecto piezoeléctrico es normalmente reversible: al dejar de someter los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma.

Los materiales piezoeléctricos son cristales naturales o sintéticos que carecen de centro de simetría. Una compresión o un cizallamiento provocan disociación de los centros de gravedad de las cargas eléctricas, tanto positivas como negativas. Como consecuencia, en la masa aparecen dipolos elementales y, por influencia, en las superficies enfrentadas surgen cargas de signo opuesto.

Dichos cristales al ser sometidos a la presión ejercida por el agua de las tuberías sufren una deformación mecánica que produce a su vez un diferencial de tensión. Los elementos de medición captan el diferencial de tensión y de forma similar a lo que hacen los voltímetros traducen esa señal a una presión. Los sensores piezoeléctricos son muy precisos y fiables, pero al mismo tiempo sólo pueden aplicarse en contextos de presión dinámica, ya que en contextos de presión estática el diferencial de tensión generado es constante y por lo tanto no es posible su medición.

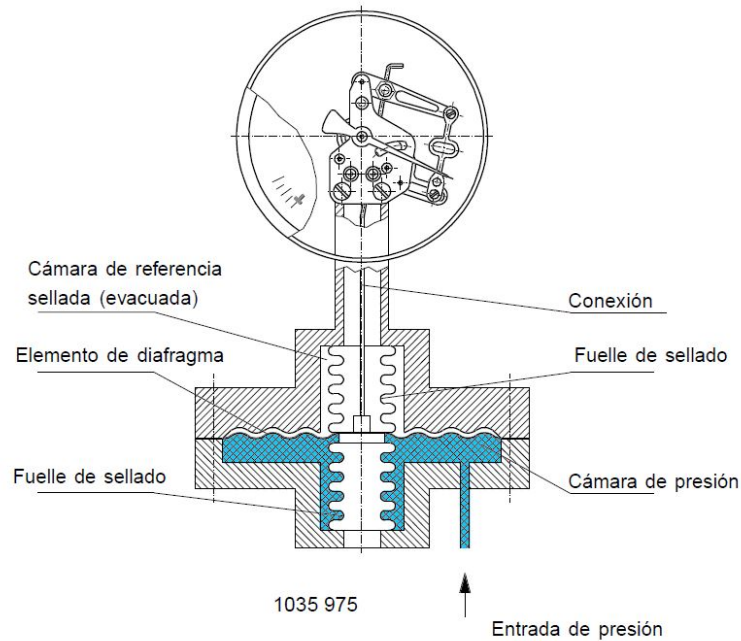


[HBK](#) (Todos los derechos reservados)

2.1.3. Manómetro de presión absoluta

Manómetros con una cámara de referencia de vacío. Estos instrumentos se aplican para la medición de la presión independientemente de las variaciones naturales de la presión atmosférica. Su construcción interna no varía mucho con respecto a la de los manómetros mecánicos, salvo que en este caso el material elástico está vinculado a una cámara de vacío donde la presión es nula y por lo tanto en vez de comparar la presión del agua con la deformación del material que actúa como muelle elástico, y medir ésta con respecto a la presión atmosférica, la miden con respecto a un vacío donde la presión es nula.

Su principal ventaja es que la medición es independiente de la presión atmosférica local. Debido a que la presión atmosférica de los lugares donde se diseñan los manómetros mecánicos diferenciales y los lugares donde definitivamente se instalan puede variar, es necesario en operaciones donde se requieran precisiones de medición muy altas contemplar un ajuste de la medición de los manómetros diferenciales. Esto no es necesario en el caso de manómetros de presión absoluta, ya que estos manómetros comparan la presión con el vacío, y este parámetro se mantendrá constante independientemente de la ubicación geográfica.



2.2. Medición de caudales y volúmenes en tuberías de sección cerrada

Los instrumentos para medición de caudal en tuberías cerradas también se denominan caudalímetros. Generalmente miden y cuentan unidades de volumen o velocidad del caudal que circula por la sección de la tubería en la que se instalan.



[Wikipedia](#) (CC BY-SA)

[Contadores de volumen](#) [Contadores de velocidad](#) [Contadores electromagnéticos](#) [Contadores por ultrasonidos](#)

Contadores de volumen

Los contadores de volumen conducen el flujo de agua hacia una cámara de doble apertura que permanece cerrada por un extremo hasta que se llena. Una vez el agua llena la cámara el acceso a la misma se cierra mientras que la salida se abre gracias a unas membranas y a la propia forma de la construcción de la cámara. Entonces el volumen contenido en la cámara puede seguir circulando y al salir un contador computa la salida. De esta forma se puede saber cuántas veces se abre y cierra la cámara y por consiguiente conociendo el volumen de la misma se puede conocer el caudal total que ha circulado por la cámara. Estos contadores son muy precisos pero ofrecen una gran resistencia a la velocidad de circulación del agua, por lo que generan muchos problemas en redes donde la velocidad y el caudal son altos. Es por eso que se usan cada vez en menor medida y su uso está muy restringido a casos concretos.

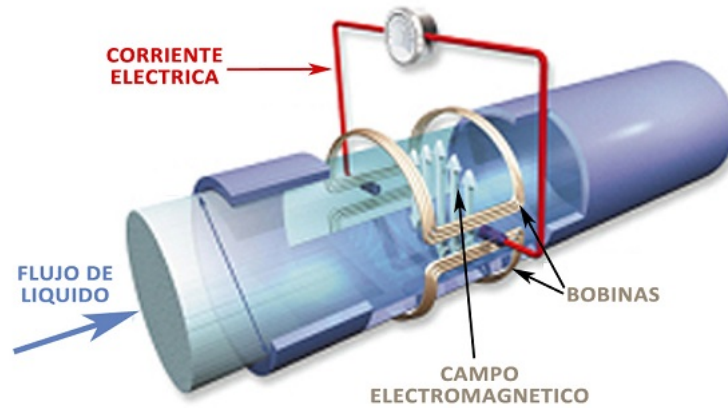
Contadores de velocidad



[Contatec](#) (Todos los derechos reservados)

Los contadores de velocidad miden la velocidad del caudal que circula por su interior gracias a una pequeña turbina ubicada en el centro de su eje. Esta turbina gira a una velocidad variable según el caudal que circula por la tubería. Gracias al diseño de la turbina se pueden conseguir mediciones muy precisas de la velocidad del caudal circulante. Puesto que se tiene conocimiento de la sección de la tubería es posible calcular el volumen que circula por la misma. Los contadores de velocidad pueden ser de varias configuraciones, según la posición relativa del eje de la turbina con respecto al eje longitudinal de la tubería, siendo principalmente horizontales, tanto alineados como no alineados y verticales. Dependiendo de estas configuraciones pueden ofrecer mayor o menor resistencia a la corriente y por lo tanto más o menos pérdida de carga.

Contadores electromagnéticos



[Contatec](#) (Todos los derechos reservados)

Los contadores electromagnéticos miden la cantidad de agua que circula por una tubería gracias al efecto Faraday. Estos contadores ofrecen la ventaja de no oponer apenas resistencia al flujo de agua, por lo que son muy útiles cuando se busca no perder cargas en la velocidad de circulación y conservar el máximo de presión posible.

Los conductores electromagnéticos se construyen en forma de anillo inferior y superior con respecto al eje longitudinal de la tubería. En el eje inferior se ubica una bobina de material conductor y en el eje superior otra bobina del mismo material. Estas bobinas reciben cargas eléctricas generando un dipolo que induce una corriente electromagnética perpendicular al eje longitudinal de la tubería. Alineados con el eje central longitudinal y entre las dos bobinas se ubican dos electrodos enfrentados en ambos extremos del diámetro central horizontal de la sección. Estos electrodos reciben corriente cuando un material conductor circula por el tubo bajo el efecto del campo electromagnético que general las bobinas. Al hacer circular el agua, que es un líquido conductor por el interior de la tubería, se produce un contacto entre ambos electrodos que cierra el circuito conectado al sensor de medición externo. Gracias a este fenómeno podemos saber cuándo circula agua por la tubería, porque al cerrarse el circuito de los electrodos nos transmite una tensión determinada.

Contadores por ultrasonidos

El medidor de caudal por ultrasonido se usa para mediciones de control o para detectar de forma rápida el caudal en una tubería, por lo que se trata de un sistema de medición transportable y de fácil instalación. El medidor de caudal por ultrasonido trabaja según el método de diferencia por tiempo de tránsito. El dispositivo cuenta con dos sensores electroacústicos que se posicionan de forma enfrentada y mientras uno emite una señal el otro mide el tiempo que tarda en retornar la señal enviada.

El principio de medición del medidor de caudal es bastante sencillo. En una medición diagonal en un tubo se necesita menos tiempo para una medición en dirección de la corriente que en contra. Cuanto más aumenta el caudal, más tiempo se necesita para medir si la medición es contra la corriente, y menos tiempo si la medición es en dirección de esta. La diferencia entre los tiempos de flujo en dirección de la corriente, o en contra de ella, depende de forma directa de la velocidad del flujo.

El medidor de caudal usa este efecto para determinar la velocidad del flujo y del caudal. Los transductores electro-acústicos reciben y emiten breves impulsos ultrasónicos a través del medio que fluye en la tubería. Los transductores se sitúan en dirección vertical de forma desplazada en ambos lados del tubo a medir. Los sensores no destructivos se colocan sobre el tubo y son fijados por ejemplo con una brida.

2.3. Medición de caudales y volúmenes en canales de sección abierta.

Los dispositivos de medida de caudal en canales abiertos son más complejos. En los canales abiertos los fenómenos de presión interna son diferentes a los que ocurren en una tubería de sección cerrada, principalmente porque la presión que los regula es siempre atmosférica, por lo que caudalímetros como los analizados hasta ahora no son útiles en estos casos. La medición puede hacerse principalmente de dos formas:



[GTM](#) (Todos los derechos reservados)

[Vertederos con rebosadero](#) [Canal Parshall](#)

Vertederos con rebosadero

Mediante este sistema se ejecuta un salto de altura físico en el propio canal. Al final de la cota superior se dispone un vertedero que debe llenarse antes de que una compuerta en su parte inferior se abra para evacuar el conducto. El funcionamiento es similar al de un contador mecánico de volumen, un vez se llena el vertedero se cierra la compuerta de admisión y se abre la de evacuación. Cuando el vertedero se vacía vuelve a repetirse el proceso. De esta forma cada vez que se registra un ciclo se puede contar el 100% del volumen del vertedero como agua que ha circulado. Se trata de un dispositivo que entraña una gran complejidad de construcción y un elevado coste de mantenimiento, pero con una alta precisión. No obstante, debido a sus desventajas, se construye pocas veces.

Canal Parshall

El canal de Venturi o más conocido como canal de Parshall funciona mediante el efecto Venturi. El efecto Venturi determina que si la sección de un conducto varía, siendo el caudal constante la velocidad en el estrechamiento de la sección será inversamente proporcional al tamaño de la sección. En términos generales esto significa que siendo el caudal constante, si se produce un estrechamiento de la sección la velocidad en ese punto debe crecer y si se produce un ensanchamiento debe disminuir. De esta forma en todos los casos el caudal se mantendrá constante.

El canal Parshall funciona de una forma muy similar. Se trata de un estrechamiento en forma de garganta de dimensiones concretas que reduce el ancho del canal en un punto concreto mediante un embudo inicial convergente, la sección constante de la garganta y otro embudo divergente a la salida. De esta forma se puede controlar la velocidad y el caudal que circula por la garganta sólo con conocer la altura que alcanza el agua en ese punto.

El sistema consta por lo tanto de una parte constructiva que constituye toda la geometría y trazado necesarios para construir la garganta y de un sensor de medición colocado sobre la propia garganta. La parte constructiva se puede ejecutar in-situ junto con la construcción del canal, pero frecuentemente, los propios fabricantes de redes hidráulicas ofrecen piezas prefabricadas en materiales plásticos, hormigón o PVC estandarizadas. Puesto que la precisión de las mediciones depende directamente de las dimensiones del propio canal, la opción de los prefabricados es la más instalada, por su mayor facilidad de montaje y precisión, aunque en volúmenes muy grandes puedes requerirse de un diseño específico.

3.- Pérdidas de carga en tuberías.

Caso práctico

- Me voy aclarando más con todo esto. Pero dime Ainhoa, si el principio de conservación de la energía aplicado al de Bernoulli, demuestra que la energía se conserva, entonces el agua podría circular ad infinitum no?
- En teoría sí. Pero en la realidad existen las pérdidas de carga o la pendiente hidráulica. Que es la cantidad de energía que el agua pierde por el rozamiento interno con las tuberías. Estas pérdidas son complejas de calcular, por eso se ha desarrollado un sistema de cálculo simplificado que nos lo facilita bastante.
- El ábaco de Colebrook no?
- Sí, exacto. La pérdida de carga depende fundamentalmente de tres factores, el caudal, el diámetro de la tubería y la velocidad del agua. Además si te fijas bien en el ábaco entenderás mejor porque calculamos la energía de las redes de agua en metros de columna de agua o m.c.a.
























¿como supondrás la energía contenida en las redes de agua no es infinita, imaginas como medimos la energía que el agua va perdiendo?

Las pérdidas de carga, son una forma de medir la pérdida de energía derivada de las fricciones generadas entre el flujo de agua y las paredes de las tuberías por las que circula. De tal forma se distinguen principalmente dos tipos de pérdidas de carga:

- Pérdidas de carga globales: estas pérdidas son las pérdidas por fricción generadas dentro de la tubería. Dependen fundamentalmente del material de la tubería, la velocidad del agua y el caudal que circula por la misma. Estas pérdidas se calculan en pérdidas por metro lineal dependiendo de las características del tramo de tubo, es decir cada vez que modifiquemos el material o el diámetro de la tubería debemos definir las pérdidas por metro lineal de la misma.
- Pérdidas de carga puntuales: estas pérdidas son las que representan los accesorios y elementos singulares de la red. Su determinación se hace en metros equivalentes de longitud de una tubería del mismo diámetro de su acometida. Es decir un contador de diámetro 32mm se simplifica a una longitud lineal de tubería que supondría las mismas pérdidas globales que la pérdida puntual del elemento. Esto se hace gracias a unas tablas que ya están predefinidas, donde se contemplan todos los accesorios (codos, derivaciones, reducciones etc...) y todos los elementos de maniobra y control (válvulas, contadores, bombas etc...), donde consultando el material y el diámetro se obtiene una longitud equivalente, que se sumaría a la longitud real de la tubería.
- Pérdidas totales: las pérdidas totales se determinan a partir de la longitud ficticia que obtenemos de sumar la longitud física del trazado de la tubería (medida en el eje central de la misma) y la longitud ficticia equivalente de la suma de todos los elementos singulares que producen pérdidas puntuales. El resultante es una longitud que multiplicada por las pérdidas por metro lineal nos darán un valor en mca de la energía pérdida por fricción en ese recorrido.

3.1.- Cálculo de pérdidas de carga en accesorios y válvulas.

Los cálculos de pérdida de carga en accesorios y válvulas, tal como se ha dicho anteriormente, se consideran pérdidas puntuales, estimadas a través de una equivalencia en metros lineales de tubo que perdería la misma energía sólo por fricción.

Clase de resistencia al sise	Diámetros de las tuberías (") (mm)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
		10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15	0,20	0,25
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00	4,00	5,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25	1,45	1,63
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97	2,61	3,43
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21	2,94	3,99
	"te" de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30
	"te" arqueada o de curvas ("pantalones")	1,50	1,68	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60
	"te" confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
	"te" derivación a ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,80	5,00	5,50	6,20	6,90	7,70	8,90
	válvula retención de batiente de pistón	0,20	0,30	0,55	0,75	1,15	1,50	1,90	2,65	3,40	4,85	6,60	8,30
	válvula retención paso de escuadra	1,33	1,70	2,32	2,85	3,72	4,67	5,75	6,91	8,40	11,1	12,8	15,4
	válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	36,0	42,0	51,0
	válvula de compuerta abierta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09	1,44	1,70
	válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,83	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80	10,8	13,1
	válvula de globo	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0	39,0	47,5
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7	17,1	21,2	25,5
	válvula de asiento de paso recto	—	3,40	3,60	4,50	5,65	8,10	9,00	—	—	—	—	—
	intercambiador	—	—	—	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	—	—	—
	radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	radiador con valvulería	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40	12,70	14,00	15,00
	caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	caldera con valvulería	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,00	11,00	12,00
	contador general individual o divisionario	4,5 m.c.d.a. 10 m.c.d.a.											

Gemma Vázquez Arenas (CC BY-NC-SA)

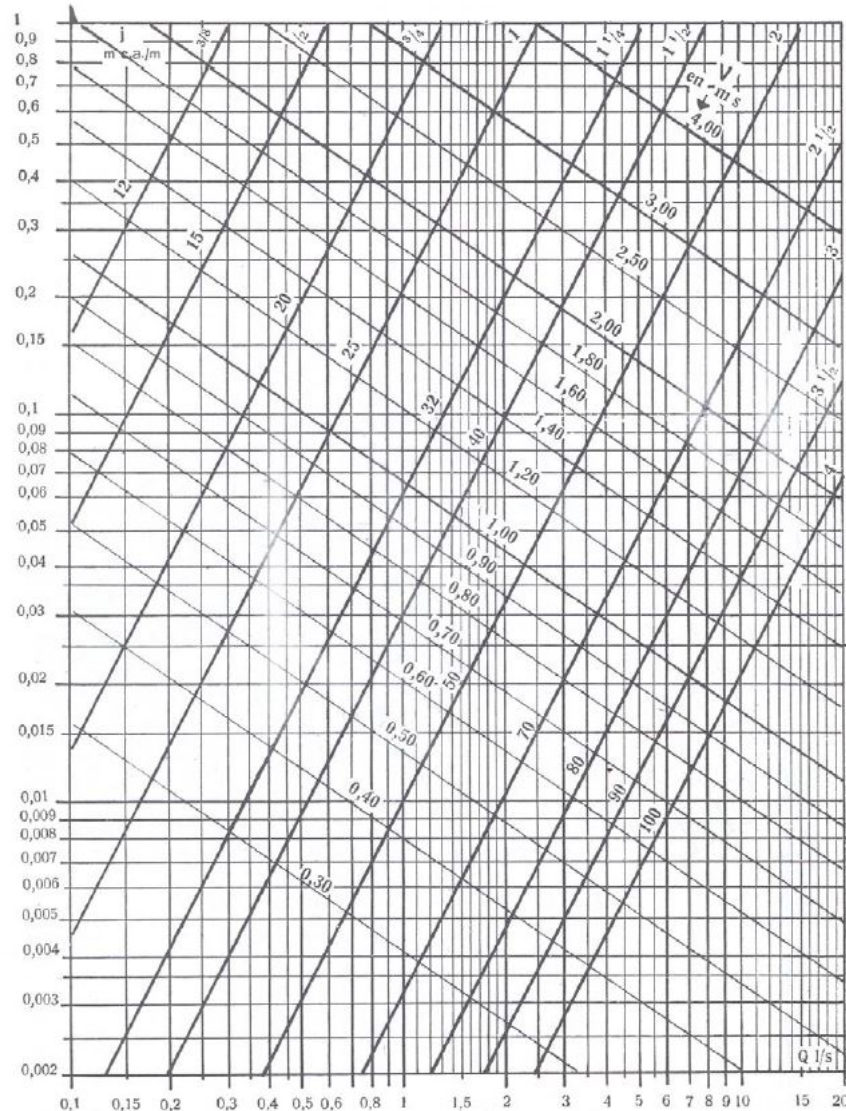
Para determinar las pérdidas de carga debemos seguir el siguiente proceso:

Conocer el circuito y su trazado, los materiales que lo componen y los caudales de cálculo (sobre esto se hablará más en la sexta unidad)

- Estimar un diámetro para la tubería que contiene los accesorios y válvulas. Conociendo el caudal de la tubería y limitando la velocidad de trabajo de la misma, 1,5-2 m/s en redes exteriores y 0,5-1 m/s en redes interiores, según el material de la tubería, podemos dimensionar un diámetro comercial
- Una vez tenemos el predimensionado del diámetro de la sección de tubería que contiene el accesorio o válvula, utilizando las tablas de metros equivalentes podemos definir los metros equivalentes lineales que suponen los accesorios de ese tramo

3.2.- Cálculo de pérdida de cargas en tuberías.

Para determinar la pérdida de carga global, es decir la pérdida de energía por metro lineal de tubería, se utiliza el ábaco de Colebrook. Este ábaco es un diagrama compuesto por dos ejes, en forma de tabla, en el eje vertical se dispone la pérdida de energía en mmca por metro lineal de tubería, en el eje horizontal se dispone el caudal en l/seg., este dato lo conoceremos, por ser el determinante del diseño. Dispuestas en ambas diagonales tenemos dos sistemas de líneas paralelas, las diagonales descendentes marcan a velocidad del flujo de agua, y las diagonales ascendentes los diámetros comerciales para el material para el que está diseñado el ábaco.



Gemma Vázquez Arenas (CC BY-NC-SA)

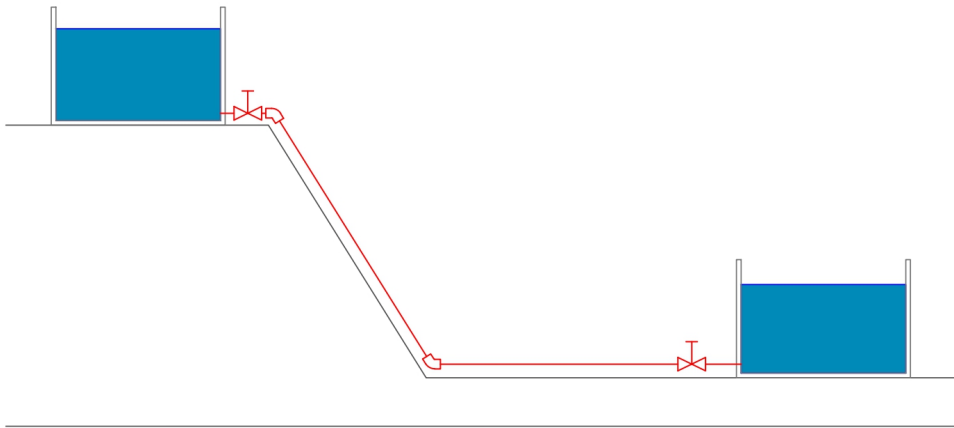
Para emplear el ábaco debemos seguir los siguientes puntos:

1. Conocer el caudal de cálculo: debemos tener en cuenta que muchas veces podemos conocer el caudal necesario para una toma (generalmente definido en las normativas), pero ese caudal puede ser instalado, es decir el caudal máximo que puede llegar a utilizarse en esa toma, o el caudal simultáneo, es decir, el caudal que de forma simultánea esperamos que sea requerido, por regla general inferior al instalado. Este caudal simultáneo es el que utilizaremos para el cálculo.
2. Definir la velocidad mínima y máxima: debemos fijar unas velocidades de trabajo, que generalmente están determinadas por factores como el ruido o las vibraciones máximas que se desean asumir en una red. Generalmente se toman valores de 1,5-2 m/s en redes exteriores y 0,5-1 m/s en redes interiores, como ya hemos dicho anteriormente.
3. Conociendo el caudal buscamos en vertical la línea que le corresponde aproximadamente, hasta donde esta línea se corta con la diagonal que marca la velocidad entre la mínima y la máxima que hayamos determinado. En este punto podemos ver cerca de qué diámetro comercial nos movemos. Puesto que las tuberías sólo se comercializan en diámetros concretos, elegiremos el más próximo a las condiciones necesarias, siempre sobredimensionando. Una vez hayamos determinado el diámetro comercial, buscamos el punto donde se cruza con el caudal de cálculo y desde ese punto podemos calcular exactamente la velocidad que habrá en esa tubería y la pérdida de carga de la misma por unidad lineal.

3.3.- Ejemplo resuelto: Dimensionado de una red entre dos depósitos.

Ejercicio Resuelto

Teniendo la red explicada en el diagrama, donde hay dos depósitos conectados por una red de tuberías que trabajan a gravedad, sabemos lo siguiente:



- Las tuberías son de PEAD, es decir lisas, apenas ofrecen resistencia al flujo.
- El caudal máximo que esperamos que circule por la tubería entre los dos depósitos es de 10 l/seg
- En la tubería hay dos codos de 45° y tres llaves de paso, una a la salida del depósito, otra en el ángulo donde acaba la pendiente y otra más antes del segundo depósito
- La longitud del trazado de la tubería es de 50 metros lineales

[Estimación del diámetro](#)

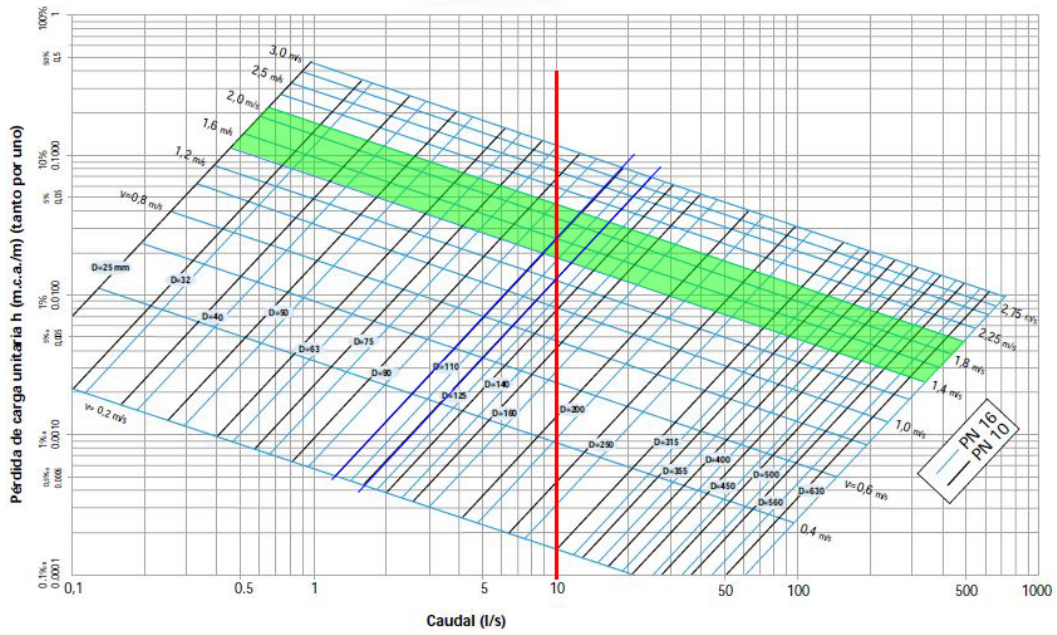
[Determinación de la longitud equivalente](#)

[Determinación de la pérdida de carga total](#)

Estimación del diámetro

Conociendo el caudal, estimamos el diámetro de la tubería considerando que la velocidad nunca puede exceder de entre 1,5 y 2 m/s. Con estos datos obtendremos un diámetro comercial estimado. Podemos comprobar en el ábaco que nos encontramos entre los diámetros 110 y 125. Por lo tanto tomamos el diámetro 125, por ser el mayor.

**Abaco tuberías HDPE PE 100 Norma ISO 4427 Clases PN 10 - PN 16
HAZEN-WILLIAMS**



[Hazen-Williams](#) (Todos los derechos reservados)

Determinación de la longitud equivalente

Para determinar la longitud equivalente debemos conocer el diámetro del primer paso, en este caso 125mm y la cantidad y tipo de los accesorios. Con ambos datos podemos elaborar una tabla que permita sumar el diámetro equivalente. En la mayoría de los casos la referencia aportada determinará cuántas veces debemos multiplicar el diámetro para obtener el resultado de la longitud equivalente.

FITTING	Longitud equivalente
Tee 90° (entrada longitudinal del fluido)	20 D
Tee 90° (entrada lateral del fluido)	50 D
Codo 90°	30 D
Codo 60°	25 D
Codo 45°	18 D
Válvula de globo convencional (completamente abierta)	350 D
Válvula de ángulo convencional (completamente abierta)	180 D
Válvula de compuerta convencional (completamente abierta)	15 D
Válvula mariposa (completamente abierta)	40 D
Válvula check convencional (completamente abierta)	100 D

[Hazen-Williams](#) (Todos los derechos reservados)

En otros casos la tabla de equivalencias puede aportarnos directamente el dato en metros. En cualquier caso debemos observar en que unidades nos devuelve el ábaco que tengamos las pérdidas globales por unidad lineal y adaptarnos a esa medida. En este caso es en metros, por lo que debemos contemplar la siguiente tabla:

Elemento	Diámetro	Equivalencia	Longitud (m)
Codo 45°	125mm	18	2,25 m
Válvula de ángulo	125mm	180	22,5 m
Codo 45°	125mm	18	2,25 m

Válvula de ángulo	125mm	180	22,5 m
			49,5 m

Como podemos ver en la tabla, la longitud equivalente de los accesorios y válvulas es casi la misma que la longitud real del propio trazado

Determinación de la pérdida de carga total

Una vez conocemos el diámetro y la longitud equivalente podemos determinar la pérdida de carga del tramo en cuestión. En este caso sería más o menos de la siguiente manera.

Caudal	Diámetro	Velocidad	Pérdidas unitarias	Longitud real	Longitud equivalente	Longitud de cálculo	Pérdida total
10 L/seg	125mm	1,2 m/s	0,015mca/m	50	49,5	99,5	1,4925 mca

4. El golpe de ariete.

Caso práctico

- Creo que ya me he aclarado. Gracias Ainhoa. Me voy a...
- Espera! Aún queda algo importante que debes saber. La principal causa de reventones en tuberías no es la presión máxima.
- Ah no?
- Es el golpe de ariete.
- Y eso qué es?
- Imaginate que por una tubería circula agua en régimen estable. Es decir, un caudal y velocidad constantes. Y de repente lo interrumpes de golpe en un punto.
- Sí...
- Pues puede ocurrir lo que llamamos golpe de ariete. Que no es otra cosa que si ponemos un elemento de seccionamiento en medio de la red, y el agua debido a la energía con la que circula choca contra él, puede rebotar con demasiada fuerza y generar un golpe de ariete.
- Y esto es grave?
- Puede reventar la tubería si no andamos con cuidado.

**¿sabes qué pasa si interrumpimos bruscamente un flujo de agua en una tubería?
¿crees que eso puede suponer un problema?**

El **golpe de ariete** o **pulso de Zhukowski** (llamado así por el ingeniero ruso Nikolái Zhukovski) es, junto a la cavitación, el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas.

El golpe de ariete se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico (aunque en diversas situaciones se puede considerar como un fluido no compresible). En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que lo comprimía y, por tanto, éste tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y la dilatación de la tubería.

Si el cierre o apertura de la válvula es brusco, es decir, si el tiempo de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, la sobrepresión máxima se calcula como

$$\Delta H = C \times \frac{V_0}{g}$$

donde:

- ΔH es el incremento de presión, expresado en unidades de [altura piezométrica](#).
- C es la velocidad de la onda (velocidad relativa respecto al fluido) de sobrepresión o depresión,
- V_0 es la velocidad media del fluido, en régimen,
- g es la aceleración de la gravedad.

A su vez, la velocidad de la onda se calcula como:

$$A = \sqrt{\frac{\frac{K}{r_0}}{1 + K \times \frac{D}{E \times e}}}$$

donde:

- K es el módulo elástico del fluido o módulo de Bulk,
- r_0 es la densidad del fluido,
- E es el módulo de elasticidad (módulo de Young) de la tubería que naturalmente depende del material de la misma
- e es el espesor de las paredes de la tubería,
- D es el diámetro de la tubería.

Para el caso particular de tener agua como fluido:

$$r_0 = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$K = 2.078E + 0.9 \text{ N/m}^2$$

A partir de esta expresión se llega a la fórmula de Allievi (denominada así por Lorenzo Allievi(1856-1941), el ingeniero italiano que la desarrolló):

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \lambda \times \frac{D}{e}}}$$

donde se introduce una variable (lambda) que depende del material de la tubería, y a modo de referencia se da el siguiente valor:

$$\lambda_{acero} = 0.5$$

El problema del golpe de ariete es uno de los problemas más complejos de la hidráulica, y se resuelve generalmente mediante modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento del sistema.

Las bombas de ariete funcionan gracias a este fenómeno.

Este fenómeno es muy peligroso, ya que la sobrepresión generada puede llegar a entre 60 y 100 veces la presión normal de la tubería, ocasionando roturas en los accesorios instalados en los extremos (grifos, válvulas, etc).

La fuerza del golpe de ariete es directamente proporcional a la longitud del conducto, ya que las ondas de sobrepresión se cargarán de más energía, e inversamente proporcional al tiempo durante el cual se cierra la llave: cuanto menos dura el cierre, más fuerte será el golpe.

El golpe de ariete estropea el sistema de abastecimiento de fluido, a veces hace reventar tuberías de hierro colado, ensancha las de plomo, arranca codos instalados.

Medios para atenuar el golpe de ariete:

Para evitar este efecto, existen diversos sistemas:

- El golpe de ariete se produce cuando el fluido está en movimiento, por lo que será más violento cuanto mayor sea la velocidad del fluido en la conducción; de ahí que siempre es conveniente que éstas sean de diámetro adecuado para que las velocidades sean pequeñas.
- Para evitar los golpes de ariete causados por el cierre de válvulas, hay que estrangular gradualmente la corriente de fluido, es decir, cortándola con lentitud utilizando para ello, por ejemplo, válvulas de asiento. Cuanto más larga es la tubería, tanto más tiempo deberá durar el cierre.
- Sin embargo, cuando la interrupción del flujo se debe a causas incontrolables como, por ejemplo, la parada brusca de una bomba eléctrica, se utilizan tanques neumáticos con cámara de aire comprimido, torres piezométricas o válvulas de muelle que puedan absorber la onda de presión, mediante un dispositivo elástico.
- Otro método es la colocación de ventosas de aireación, preferiblemente trifuncionales (estos dispositivos son para disminuir otro efecto que se producen en las redes de agua o de algún otro fluido parecido al desalojarlo del sistema mas no es propio del fenómeno del golpe de ariete) .
 1. función: introducir aire cuando en la tubería se extraiga el fluido, para evitar que se generen vacíos;
 2. función: extracción de grandes bolsas de aire que se generen, para evitar que una columna de aire empujada por el fluido acabe reventando codos o, como es más habitual en las crestas de las redes donde acostumbran a acumularse las bolsas de aire;
 3. función: extracción de pequeñas bolsas de aire, debido a que el sistema de las mismas ventosas por lado tienen un sistema que permite la extracción de grandes cantidades y otra vía para las pequeñas bolsas que se puedan alojar en la misma ventosa.
- Otro método más moderno, con capacidad de eliminar las presiones negativas, son los tanques hidroneumáticos con membrana. La membrana separa el agua del aire eliminando la necesidad de utilizar compresores.
- Otro caso común de variación brusca de la velocidad del flujo en la tubería se da en las centrales hidroeléctricas, cuando se produce una caída parcial o total de la demanda. En estos casos tratándose de volúmenes importantes de fluido que deben ser absorbidos, se utilizan en la mayoría de los casos torres piezométricas, o chimeneas de equilibrio que se conectan con la presión atmosférica, o válvulas de seguridad.

5.- Presiones hidráulicas en redes de agua.

Caso práctico

Miren ha podido aclarar la mayoría de sus dudas con Ainhoa. Ahora debería poder comprender mejor el pliego de cálculos que han presentado los ingenieros del proyecto. Pero empieza a tener un problema porque no para de ver acrónimos que no entiende muy bien. Coge el teléfono y llama a Jon, uno de los ingenieros:

- Hola Jon, soy Miren.
- Dime Miren.
- Pues mira, estoy mirando el pliego de cálculos y creía que no tendría problemas. Pero veo que no hay más que acrónimos que no entiendo, DP, MDP, PFA
- Cuesta familiarizarse con las normativas. Te mando un extracto de la norma que las regula. Son acrónimos de diferentes valores de presión en la red que se deben contemplar para hacer los cálculos.

¿ imaginas cuántas personas diferentes deben interpretar un mismo pliego? ¿ crees que habría que homogeneizar el lenguaje que se utiliza?

Presiones relativas a la red de agua:

De acuerdo con la norma UNE-EN 805:2000, los términos empleados para referirse a las presiones hidráulicas que solicitan a la tubería o a la red son los siguientes:

- **Presión estática:** Es la presión en una sección de la tubería cuando, estando en carga, se encuentra el agua en reposo.
- **Presión de diseño (DP):** Es la mayor de la presión estática o de la presión máxima de funcionamiento en régimen permanente en una sección de la tubería, excluyendo, por tanto, el golpe de ariete. A pesar de su denominación no es esta la presión para la que realmente se diseña la tubería, ya que no se considera la sobrepresión debida al golpe de ariete.
- **Presión máxima de diseño (MDP):** Es la presión máxima de funcionamiento que puede alcanzarse en una sección de la tubería en servicio, considerando las fluctuaciones producidas por un posible golpe de ariete. Corresponde a este valor de la presión aquel para el que realmente se diseña la tubería.
- **Presión de prueba de la red (STP):** Es la presión hidráulica interior a la que se prueba la tubería una vez instalada, para comprobar su estanqueidad.

Para evitar confusiones, la relación entre esta terminología y la empleada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento de Agua del MOPU /1974, es la siguiente:

Concepto	UNE-EN 805:2000		Pliego MOP
	Denominación	Siglas	Denominación
Presión solicitante cuando, estando en carga, se encuentra el agua en reposo.			Presión estática
Presión máxima en funcionamiento en régimen permanente.	Presión de diseño (la mayor de ambas).	DP	Presión de servicio
Presión máxima que puede alcanzarse considerando las fluctuaciones debidas al golpe de ariete.	Presión máxima de diseño.	MDP	Presión máxima de servicio
Presión a la que se prueba la tubería una vez instalada.	Presión de prueba de la red.	STP	Presión de prueba de estanqueidad

Otras definiciones también incluidas son las siguientes:

- **Presión de funcionamiento (OP):** Es la presión interna que aparece en un instante dado en un punto determinado de la red de abastecimiento de agua.

- **Presión de servicio (SP):** Es la presión interna en el punto de conexión a la instalación del consumidor, con caudal nulo en la acometida.

Presiones relativas a los componentes de la red:

Respecto a los componentes de la red, los términos recogidos en la norma UNE-EN 805:2000, son los siguientes:

- **Presión de funcionamiento admisible (PFA):** Es la presión máxima que un componente es capaz de resistir de forma permanente en
- **Presión máxima admisible (PMA):** Es la presión máxima, incluido el golpe de ariete, que un componente es capaz de soportar en
- **Presión de prueba en obra admisible (PEA):** Es la presión hidrostática máxima que un componente recién instalado es capaz de soportar, durante un periodo de tiempo relativamente corto, con objeto de asegurar la integridad y la estanqueidad de la conducción.
- **Presión de prueba en fábrica:** Es la presión hidráulica interior a la que se prueban los tubos, con antelación a su suministro, para comprobar su
- **Presión de rotura:** Es la presión hidrostática interior que, en ausencia de cargas externas,

deja fuera de servicio al material constitutivo de la tubería.

Aunque en la norma UNE-EN 805:2000 no se recoge el tradicional concepto de presión nominal (PN), si se incluye, por el contrario, en numerosas normas UNE-EN específicas de producto. Por esta razón, a efectos de clarificación, se incorpora a estas Instrucciones quedando definida de la manera siguiente:

- **Presión nominal (PN):** Es una designación numérica, utilizada como referencia, que se relaciona con una combinación de características mecánicas y dimensionales de un componente de una red de tuberías.

La utilización del concepto de PN es de aplicación para las válvulas y para los tubos de materiales plásticos, no empleándose en general ni en los tubos de hormigón ni en los metálicos (acero y fundición) excepto cuando estos últimos tubos se unan mediante bridas, en cuyo caso el concepto PN caracteriza a las mismas.

Simplificadamente y a modo de síntesis, en la actualidad, la PN de un componente de la red se identifica con la presión que dicho elemento es capaz de soportar en servicio, sin considerar el golpe de ariete (PFA) y en ausencia de cargas externas.

Relación entre las presiones de la red:

Presiones de la Red		Presiones de los Componentes de la Red
DP	≤	PFA
MDP	≤	PMA
STP	≤	PEA

6. Definiciones para la clasificación de tubos.

Caso práctico

Por fin Miren comprende mejor los cálculos que han presentado los ingenieros y pasa a revisar el pliego de condiciones de material. Donde para su sorpresa encuentra de nuevo un montón de acrónimos. Mirando detenidamente los catálogos del fabricante descubre que algunos coinciden. Es posible que Jon la pueda ayudar con eso:

- Jon, soy Miren otra vez.
- No veo otra vez más que acrónimos. DN, SDR, LCL y más. Qué son?
- Eso son las definiciones reguladas por norma UNE para la comercialización de tuberías, fíjate en el catálogo del fabricante, son como el nombre y los apellidos de cada tipo de tubería.
- Entiendo....

**¿cómo crees que se puede comercializar las características de una tubería concreta?
¿ es necesario inventar una codificación?**

Diámetro nominal: DN

Espesor de pared nominal: e

Relación de dimensiones estándar: SDR

Rigidez anular nominal: SN

Límite inferior de confianza: LCL

Tensión de diseño: σ

