

## Flujo en sistemas de tuberías

## Flujo en tuberías y robineterías

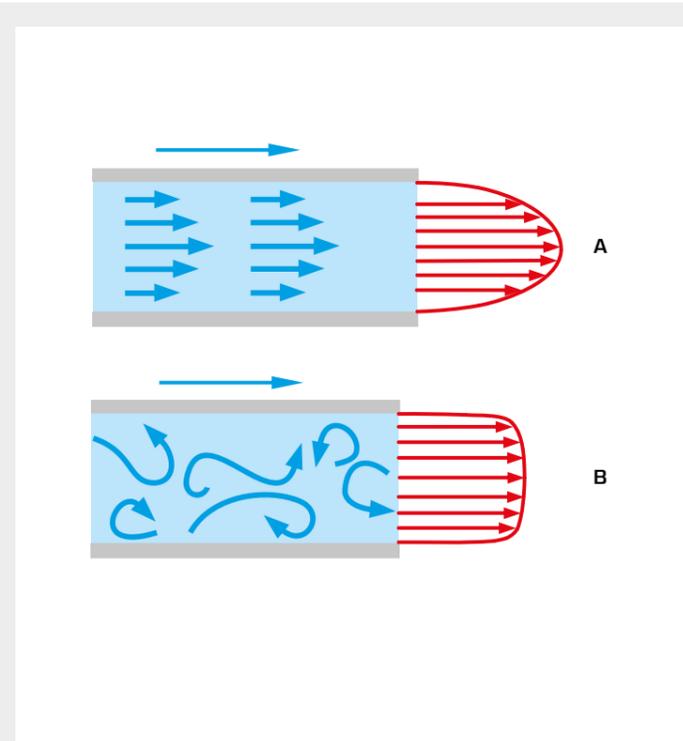
Los sistemas de tuberías sirven en general para el transporte de fluidos. Cuando el fluido pasa por una tubería, la energía de presión del fluido disminuye debido a la fricción y la energía interna del fluido aumenta. La disminución de la energía interna se manifiesta como pérdida de carga en el fluido.

En el caso de las pérdidas que se producen, se distingue entre la fricción interna en el fluido y la fricción entre el fluido y la pared o resistencia.

En relación con las pérdidas, se debaten los siguientes conceptos generales de la mecánica de fluidos:

- flujo laminar y turbulento
- fricción de tubería debido a materiales y superficies diferentes
- pérdidas de carga en tuberías y racores de tubos
- pérdida de carga en válvulas y robineterías

## Flujo laminar y turbulento en tuberías



En un flujo laminar **A** en tuberías, se mueven partículas de fluido en paralelo en capas, sin mezclarse entre sí. La distribución de la velocidad del fluido en la tubería es desigual. En la zona límite, el fluido es frenado como consecuencia de la fricción de tubería y se mueve más lento que en el centro de la tubería. La pérdida de carga es proporcional a la velocidad media del fluido. En la práctica, es poco común un flujo laminar totalmente desarrollado.

En el flujo turbulento **B**, las capas de fluido individuales se arremolinan e intercambian energía. El patrón de flujo generado se caracteriza por movimientos tridimensionales, impredecibles y no estacionarios de las partículas fluidas. Solo en la zona límite de la tubería se mantiene, parcialmente, una capa límite laminar. La distribución de la velocidad es casi constante en un amplio rango de la sección transversal de la tubería. Al contrario que con el flujo laminar, la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad media del fluido.

En las tuberías, el número de Reynolds **Re** se puede calcular a partir del diámetro interno de la tubería **d**, la velocidad media del fluido **v** y la viscosidad cinemática **ν**.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

flujo turbulento  $Re \geq 2300$

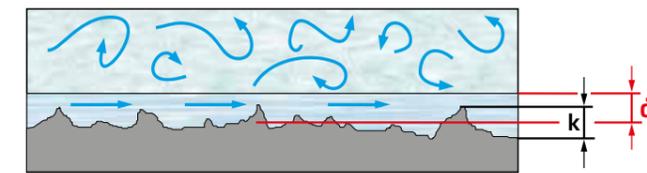
La distinción entre flujo laminar y turbulento se puede determinar con ayuda del número de Reynolds **Re**. El número de Reynolds es un número característico adimensional. Hasta un número de Reynolds de aprox. 2300, se habla de flujo laminar. A partir de un número de Reynolds de 2300, se habla de flujo turbulento. Los flujos con el mismo número de Reynolds son comparables en su comportamiento.

## Fricción de tubería en distintos materiales y superficies

En la práctica, las superficies de las paredes de las tuberías siempre tienen una cierta rugosidad. La rugosidad de la superficie se crea, por un lado, en el proceso de producción y, por otro, por los depósitos y/o la corrosión durante el funcionamiento. El material de la tubería tiene también una influencia decisiva en la rugosidad.

En el flujo laminar, la rugosidad de la tubería tiene muy poca influencia en la pérdida de carga porque los fluidos en el área de la capa límite poseen velocidades de flujo muy reducidas o en algunos casos no se mueven.

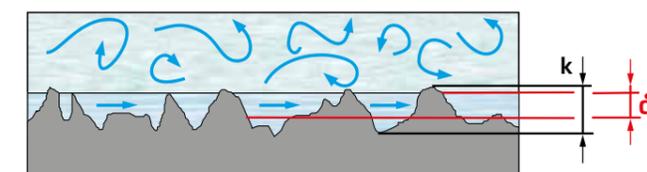
En el flujo turbulento, sin embargo, resulta decisivo si el espesor  $\delta$  de la capa límite laminar se extiende por encima de las irregularidades de la superficie de la tubería **k** y las cubre. En este caso, se habla de **tuberías lisas hidráulicamente** y la rugosidad no influye en la pérdida de carga. Cuando las rugosidades de la superficie de la tubería se extienden muy por encima de la capa límite laminar, el efecto de alisado de la capa límite se pierde. En este caso, se habla de **tuberías rugosas hidráulicamente** y la rugosidad tiene una influencia importante en la pérdida de carga.



$\delta$  espesor de la capa límite laminar  
**k** altura de las irregularidades

## Tuberías lisas hidráulicamente

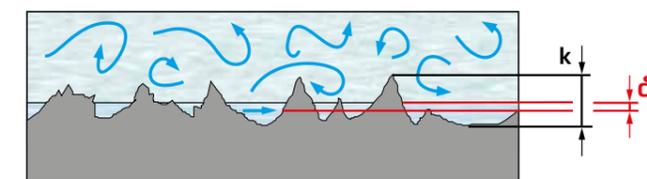
La capa límite laminar es lo suficientemente gruesa para cubrir las irregularidades de la superficie de la tubería. El flujo en tuberías turbulento puede fluir sin obstáculos.



$\delta$  espesor de la capa límite laminar  
**k** altura de las irregularidades

## Tuberías en zona de transición

Dependiendo de la condición de flujo y de la naturaleza de la tubería, en la práctica se suelen producir formas mixtas. Cuando la capa límite laminar es considerablemente gruesa, pero las irregularidades no están completamente cubiertas, se habla de tuberías en zona de transición.



$\delta$  espesor de la capa límite laminar  
**k** altura de las irregularidades

## Tuberías rugosas hidráulicamente

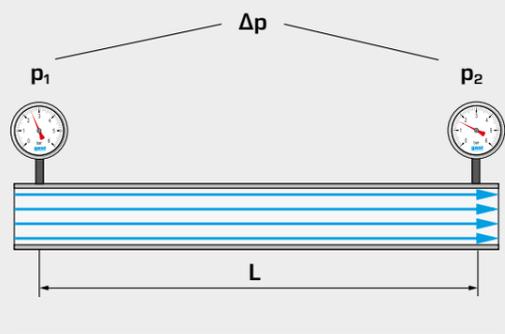
La capa límite laminar no es lo suficientemente gruesa para cubrir las irregularidades de la superficie de la tubería.

Flujo en sistemas de tuberías

# Flujo en tuberías y robineterías

## Pérdida de carga en tuberías, racores de tubos y robineterías

### Pérdida de carga en el elemento recto de tuberías

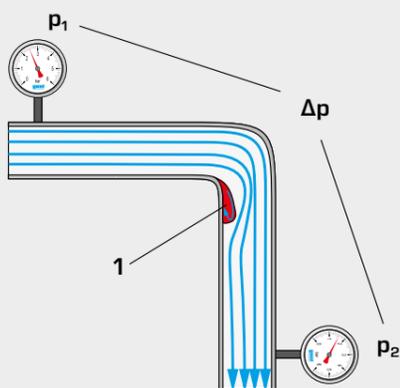


p presión, Δp diferencia de presión, L longitud de la tubería

Los sistemas de tuberías están compuestos por distintos elementos de tuberías con distintas propiedades específicas. Al determinar pérdidas de carga, se diferencia entre las pérdidas puramente por fricción en los elementos rectos de tuberías y las pérdidas adicionales en los llamados racores de tubos y otros elementos como, p.ej., válvulas. Al contrario que en los elementos rectos de tuberías, en los racores de tubos se producen, además de las pérdidas por fricción debido a la rugosidad de la superficie, otras pérdidas por separación y/o flujo secundario.

La pérdida de carga en un racor de tubos depende del tipo de cambio en la dirección y se denomina coeficiente de resistencia ζ. Los coeficientes de resistencia se determinan experimentalmente a través de una medición de la presión de la entrada p<sub>1</sub> a la salida p<sub>2</sub> del racor de tubos y se encuentran en tablas a modo de valores de orientación. El coeficiente de resistencia indica la diferencia de presión que debe haber entre la entrada y la salida para mantener un caudal determinado a través de un elemento de tuberías.

### Pérdida de carga en el codo de tubería

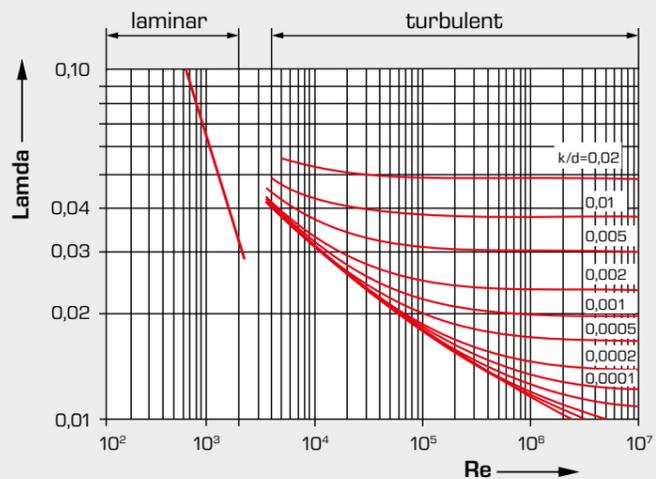


p presión, Δp diferencia de presión, 1 flujo secundario

### Diferencia de presión en elementos rectos de tuberías

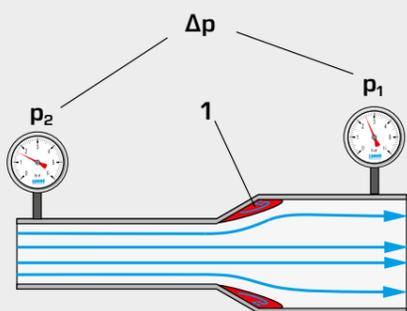
La diferencia de presión Δp de la entrada a la salida de un elemento recto de tuberías se obtiene del factor de fricción de tubería λ, la longitud de la tubería L, la densidad del fluido ρ y el cuadrado de la velocidad media del fluido v dividido por el diámetro interior de la tubería d<sub>i</sub>.

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{d_i \cdot 2}$$



El diagrama de fricción de tubería indica la dependencia del factor de fricción de tubería λ del número de Reynolds Re y la rugosidad k

### Pérdida de carga en una expansión

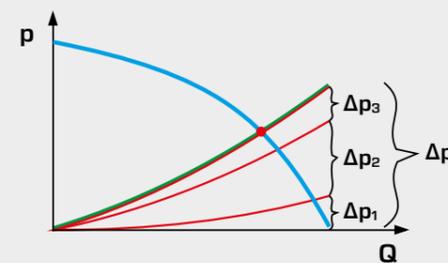


p presión, Δp diferencia de presión, 1 separación

### Diferencia de presión en racores de tubos

La diferencia de presión Δp de la entrada a la salida de un racor de tubos se obtiene a partir del coeficiente de resistencia ζ, la densidad del fluido ρ y el cuadrado de la velocidad media del fluido v.

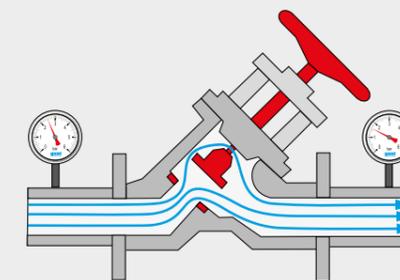
$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$



- resistencias individuales Δp<sub>1-3</sub> de una instalación,
- resistencia total Δp de la instalación,
- característica de la bomba;
- Δp diferencia de presión, p presión, Q caudal

Al sumar todas las pérdidas de carga en los distintos elementos de tuberías se obtiene la característica de la instalación del sistema de tuberías. A través de la característica de la instalación se obtiene la altura de elevación necesaria de la bomba en función del caudal.

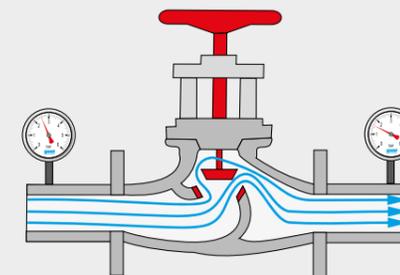
## Pérdidas de carga en robineterías de cierre



Las robineterías de cierre se utilizan para cerrar el caudal en sistemas de tuberías. Como robineterías de cierre se utilizan, en primera línea, válvulas, grifos y válvulas de compuerta. El mecanismo de cierre se implementa de distintos modos dependiendo del tipo del diseño de la robinetería. Cuando el flujo atraviesa las distintas robineterías se producen distintas pérdidas de carga según la geometría y el estado de abertura.

También cuando están totalmente abiertas se producen pérdidas de carga. Esto se debe a los frecuentes cambios marcados en la dirección del flujo dentro de la robinetería. La diferencia de presión puede expresarse aquí mediante el coeficiente de resistencia ζ para el estado abierto.

## Pérdidas de carga en válvulas de regulación



En las válvulas de regulación se puede ajustar el caudal gracias al diseño de la válvula, utilizándose por tanto para regular el caudal. El caudal con el estado de abertura correspondiente se caracteriza por la llamada característica de la válvula.

Para seleccionar válvulas, los fabricantes de robineterías indican el coeficiente de caudal K<sub>v</sub> con un grado de abertura del 100% de la robinetería. Este coeficiente de caudal es una medida para indicar el caudal máximo posible de un fluido a través de una robinetería. Con aberturas de la válvula inferiores al 100%, el coeficiente de caudal se denomina K<sub>v</sub>. El coeficiente de caudal K<sub>v</sub> se encuentra entre 0 y K<sub>v</sub>s.

El coeficiente de caudal K<sub>v</sub> para robineterías se determina para distintos estados de abertura a través del caudal Q y la diferencia de presión Δp entre la entrada y salida de la robinetería.

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p}}$$