

Manual de experimentos

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías

G.U.N.T. Gerätebau GmbH

Fahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel • Alemania

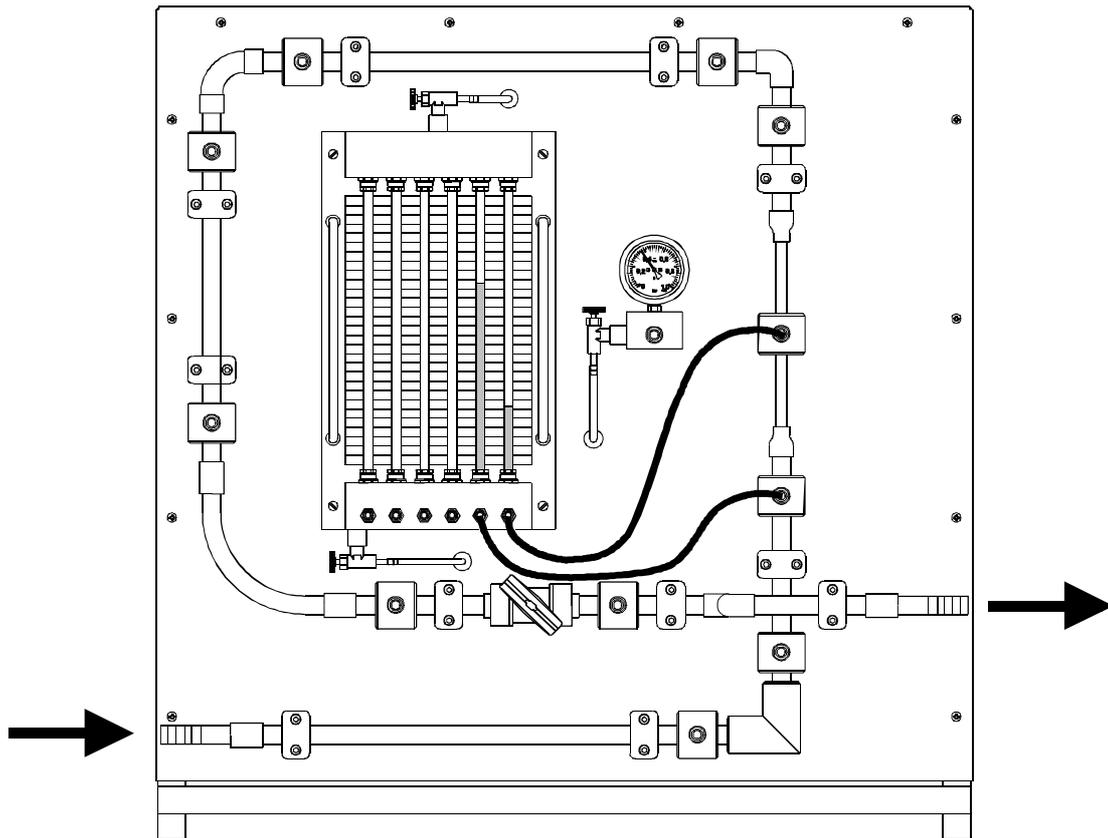
Teléfono +49 (40) 670854-0

Telefax +49 (40) 670854-42

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



Todos los derechos reservados . G.U.N.T. Gerätebau GmbH., Alemania 06/98



Manual de experimentos

¡Antes de la primera puesta en marcha del equipo lea atentamente las medidas de seguridad!

¡El equipo sirve exclusivamente para educación y formación así como para investigación! ¡No ha sido concebido para el uso industrial!

Indice General

1	Descripción del equipo	1
2	Realización de ensayos	3
2.1	Panel del manómetro de 6 tubitos	4
2.2	Medición de la presión diferencial	4
2.3	Medición de la presión absoluta	5
2.4	Conexión del manómetro y manejo	6
2.4.1	Purga de aire.	6
2.4.2	Ajuste de la posición cero	6
3	Ensayos	7
3.1	Curva de calibración con estrechamiento	7
3.2	Curva característica del estado de la práctica.	9
3.3	Caudal de tubo con fricción	10
3.3.1	Fundamentos	10
3.4	Coeficientes de resistencia de elementos especiales de tuberías	13
3.4.1	Fundamentos	13
3.4.2	Codo	14
3.4.3	Realización de ensayos	16
3.5	Modificaciones de la sección transversal	17
3.5.1	Realización de ensayos	18
4	Datos técnicos	19
4.1	Dimensiones principales del equipo de prácticas	19
4.2	Componentes.	19
4.3	Bibliografía	20
4.4	Tablas y diagramas	20

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



1 Descripción del equipo

El equipo **HM 150.29** sirve para el estudio de las pérdidas de presión en codos, empalmes y válvulas, así como en estrangulaciones y ampliaciones.

El tramo de medición consta de un sistema de tubos con diferentes empalmes, una válvula de bola, una ampliación y una estrangulación. El caudal se puede variar con la válvula de bola. El equipo cuenta con un manómetro de 6 tubitos y un manómetro de tubo elástico para determinar las presiones relativas individuales. Las cámaras de medición anulares están montadas en el sistema de tubos para que la diferencia de presión se pueda medir en todos los objetos pertinentes.

El suministro de agua tiene lugar mediante el **HM 150 Módulo básico para hidrodinámica** o a través de la red del laboratorio.

El **HM 150 Módulo básico para hidrodinámica** permite crear un circuito de agua cerrado.

Posibles ensayos:

- Estudio de la pérdida de presión en codos y empalmes
- Comparación de diferentes codos y empalmes
- Influencia del radio del empalme
- Curva característica de válvula

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



Estructura del equipo:

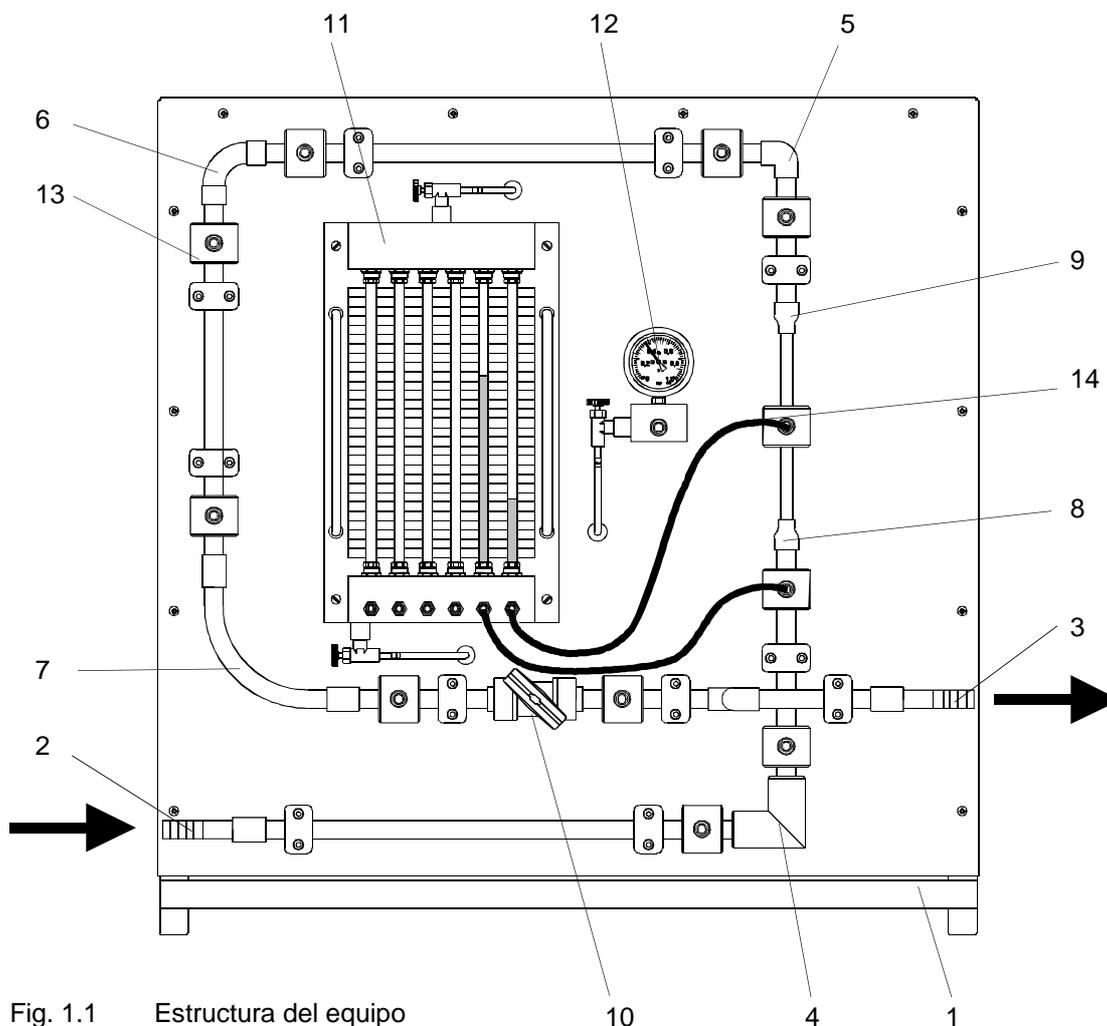


Fig. 1.1 Estructura del equipo

- | | |
|--|---|
| 1 Armazón base con pared trasera | 8 Estrangulación |
| 2 Racor de manguera para entrada de agua | 9 Ampliación |
| 3 Racor de manguera para salida de agua | 10 Válvula de bola |
| 4 Codo de tubo | 11 Manómetro de 6 tubitos |
| 5 Tubo acodado | 12 Manómetro de tubo elástico |
| 6 Cuadrante de tubo estrecho | 13 Cámara anular con tubuladura de medición |
| 7 Cuadrante de tubo ancho | 14 Tubo de PVC con acoplamiento enchufa- |

2 Realización de ensayos

Las descripciones siguientes sobre realización de ensayos efectuados y sobre los ensayos del capítulo 3 se basan en el **Módulo básico para hidrodinámica HM 150**.

- Colocar el equipo de ensayo en el **HM 150 Módulo básico para hidrodinámica**.
- Conectar **HM 150** y el equipo con tubos de entrada y salida.
- Cerrar todas las válvulas de bola, del módulo básico y del equipo de ensayo.
- Conectar el manómetro a los puntos de medición deseados.
- Conectar la bomba y abrir lentamente la válvula de bola del **HM 150**.
- Abrir poco a poco la válvula de bola del **HM 150.29** y purgar el aire del manómetro, véase capítulo 2.4.
- Ajustar simultáneamente la válvula de purga de aire y la de salida en el manómetro de 6 tubos para regular el nivel de agua de forma que las columnas de agua se encuentren en el área de medición.
- Determinar el caudal. Para ello se debe determinar el tiempo t , necesario para llenar el depósito volumétrico de **HM 150** de 10 a 20 o 30 litros. Para ello hay que cerrar la salida bajo el depósito.

2.1 Panel del manómetro de 6 tubitos

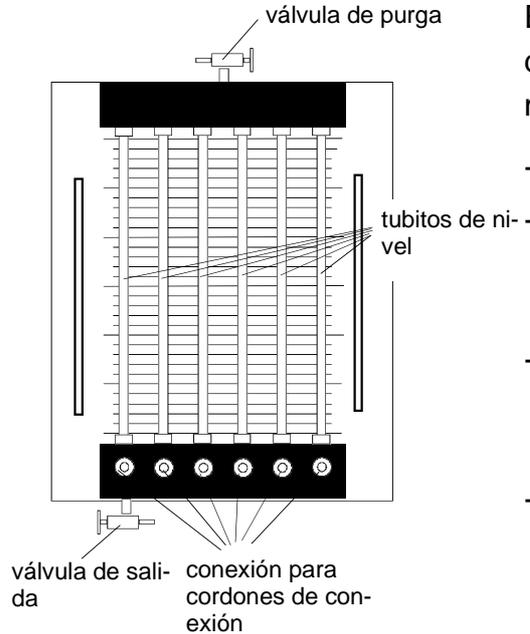


Fig. 2.1 manómetro de 6 tubitos

El panel del manómetro de 6 tubitos se compone de 6 tubitos de nivel de vidrio con una escala en mm.

- El área de medición es de $300 \text{ mmWS} \hat{=} 30 \text{ mbar}$.
- Todos los tubitos de nivel están conectados entre sí por su extremo superior y tienen una válvula de purga común.
- Cuando la válvula de purga está cerrada, se mide la presión diferencial; cuando está abierta, se mide la presión absoluta.
- Los puntos de medición se conectan a los extremos inferiores de los tubitos de nivel mediante acoplamiento rápido de tubo.
- El primer tubito de nivel tiene una válvula de salida.

2.2 Medición de la presión diferencial

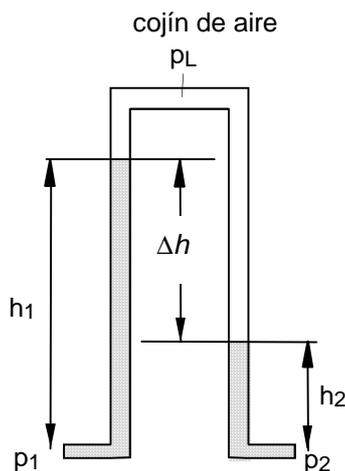


Fig. 2.2 Medición de la presión diferencial

La válvula de purga está cerrada. Las dos columnas de agua crean un cojín de aire con una presión p_L . Entonces, para las presiones p_1 y p_2 que se deben medir,

$$p_1 = p_L + h_1 \rho g ,$$

$$p_2 = p_L + h_2 \rho g .$$

La presión diferencial en este caso es de:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = p_L + h_1 \rho g - p_L - h_2 \rho g .$$

La presión p_L se elimina, lo que da lugar a:

$$\Delta p = \Delta h \rho g \quad \text{siendo} \quad \Delta h = h_1 - h_2 .$$

Mediante la presión p_L se puede ajustar el punto cero para la medición de la presión diferencial.

Para lograr un margen de medición máximo, se precisa que el punto cero o valor medio $\frac{h_1 + h_2}{2}$ se encuentre en el centro de la escala de medición $\frac{h_{max}}{2}$.

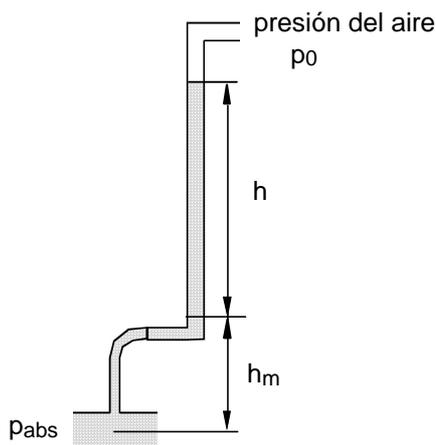
$$\frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{h_{max}}{2} = \frac{p_1 - p_L + p_2 - p_L}{2 \rho g}.$$

Entonces, para la presión del cojín de aire,

$$p_L = \frac{p_1 + p_2 - h_{max} \rho g}{2}.$$

La presión se ajusta mediante la válvula de purga, véase apartado 2.4.2.

2.3 Medición de la presión absoluta



Para medir la presión absoluta, la válvula de purga debe estar abierta y la presión p_L debe corresponder a la presión atmosférica p_0 .

También se debe tener en cuenta la altura h_m entre el punto de medición y el punto cero del manómetro.

$$p_{abs} = p_0 + (h + h_m) \rho g.$$

Fig. 2.3 Medición de la presión absoluta

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



2.4 Conexión del manómetro y manejo

La purga de aire y el manejo del manómetro de 6 tubitos requiere cierta práctica y experiencia con el equipo de prácticas **HM 150.29**. También se debe tener en cuenta que sólo hay que conectar entre sí objetos con la misma área de medición.

2.4.1 Purga de aire

- Conectar el manómetro a los empalmes que se deban medir mediante tubos flexibles de unión.
- Abrir la válvula de purga y purgar el aire de los tramos de tubo y los tubos flexibles de unión con una corriente de agua fuerte.

Cuando no queden burbujas de aire en los tubos flexibles de unión:

- Cerrar la válvula de purga superior.
- Cerrar la válvula de salida inferior.
- Cerrar la válvula de bola del módulo básico HM 150.
- Desconectar la bomba.

2.4.2 Ajuste de la posición cero

- Abrir poco a poco la válvula de bola del módulo básico **HM 150** y ajustar el margen máximo con las válvulas y las válvulas de bola.
- Cerrar la válvula de purga y las válvulas de bola.
- Volver a conectar la bomba e iniciar las mediciones mientras las válvulas de bola se abren poco a poco.

¡Atención! La válvula de purga sólo permite subir el nivel.

3 Ensayos

En los apartados siguientes se describen algunos ensayos que se pueden practicar con este equipo a modo de ejemplo. La selección de ensayos no pretende ser exhaustiva, sino que más bien se trata de una sugerencia para crear series de ensayos propias.

Las descripciones de ensayos se dividen en una **parte teórica** con las fórmulas de cálculo más importantes y la **realización del ensayo** propiamente dicha, con el registro de los valores de medición y el análisis.

Los resultados de medición detallados no se deben entender como valores indicativos o de calibración válidos en todas las circunstancias. Según la versión de los componentes y de la perspectiva técnica del ensayo, cuando se efectúen experimentos propios puede haber desviaciones más o menos grandes.

3.1 Curva de calibración con estrechamiento

Puesto que la gran estrangulación del estrechamiento es como un orificio de medición, se puede trazar una curva de calibración del empalme.

Para trazar la curva de calibración se debe registrar la pérdida de presión Δp en mmWs sobre el caudal \dot{V} en l/min.

Para efectuar una determinación única del caudal, se debe calcular además el caudal mediante el depósito volumétrico del **HM 150**.

El caudal se reduce por niveles mediante la llave de bola del equipo de prácticas **HM 150.29** y se lee la pérdida de presión correspondiente; hay que anotar ambos valores.

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



Resultado de medición a modo de ejemplo:

Curva de calibración: estrechamiento	
Pérdida de presión Δp en mmWs	Caudal \dot{V}
en	
l / min	
265	9,81
215	8,33
185	7,34
150	6,35
90	4,84
80	4,44
70	4,19
65	4
45	3,33
25	2,61

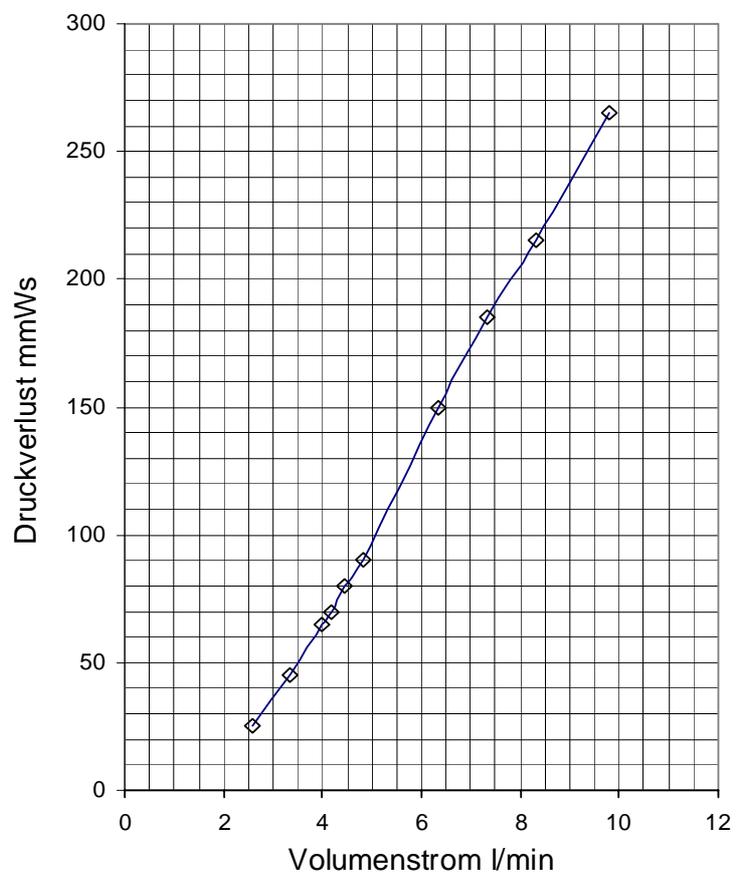


Fig. 3.4 Estrechamiento de la curva de calibración

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías

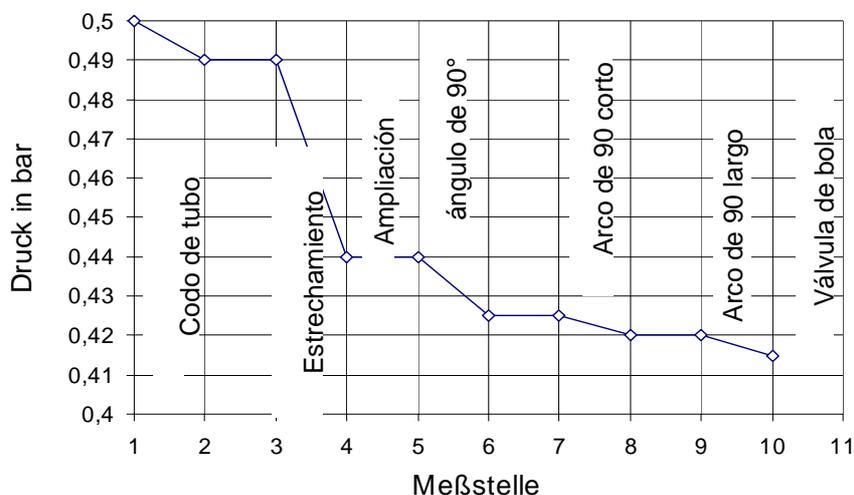


3.2 Curva característica del estado de la práctica

Con el manómetro de tubo elástico se puede registrar una curva característica del estado de la práctica. Cuando se registra la presión mediante el tramo de tubo para la curva característica, las pérdidas de presión se pueden leer en cada objeto.

Resultado de medición a modo de ejemplo:

Curva característica $\dot{V}=10,3 \text{ l/min}$		
Punto de medición	Objeto de medición	Presión p en bares
1	Codo de tubo	0,5
2		0,49
3	Estrechamiento	0,49
4		0,44
5	Ampliación ángulo de 90	0,44
6		0,425
7	Arco de 90 corto	0,425
8		0,42
9	Arco de 90 largo	0,42
10		0,415
11	Válvula de bola	0



HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



3.3 Caudal de tubo con fricción

3.3.1 Fundamentos

En los ensayos siguientes se calcularán experimentalmente la **pérdida de presión p_v** y el **nivel de pérdida h_v** de una inundación de tubo con fricción.

En el caso de la **inundación de tubo turbulenta**, según la cifra de Reynold es de $Re > 2320$; la pérdida de presión es proporcional a

- la longitud l del tubo
- el coeficiente de fricción del tubo λ
- la densidad ρ del medio de inundación

el cuadrado de la velocidad de fluido v .

Además, la pérdida de presión aumenta a medida que disminuye el diámetro del tubo. Se calcula como sigue:

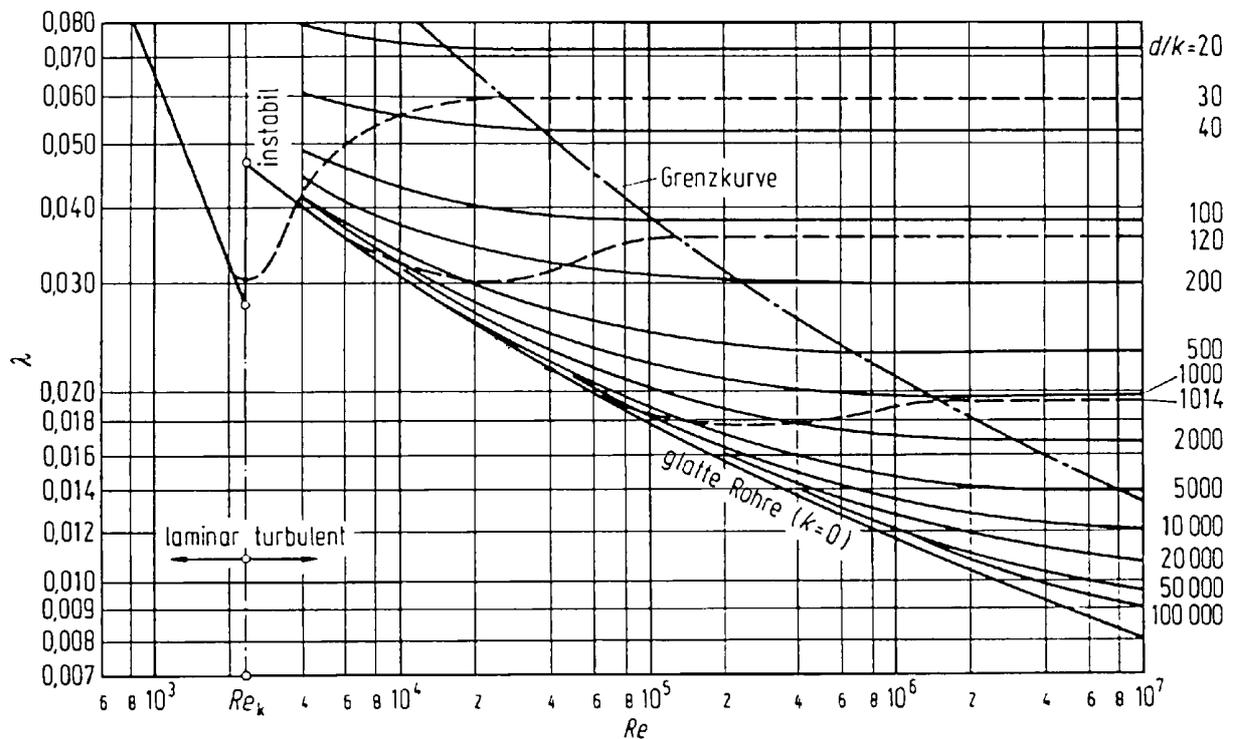
$$p_v = \frac{\lambda l}{2d} \rho v^2.$$

El nivel de pérdida h_v correspondiente se calcula del modo siguiente:

$$h_v = \frac{\lambda l}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Si la inundación de tubo es turbulenta ($Re > 2320$), el coeficiente de fricción del tubo λ depende de la rugosidad del tubo k y de la cifra de Reynold Re . La rugosidad del tubo k indica la altura de las elevaciones de muro en mm. La relación entre Re , λ y k aparece representada en el diagrama según **Colebrook** y **Nikuradse**. En este caso, la rugosidad de la pared k se refiere al diámetro del tubo d .

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



Coefficiente de fricción del tubo λ según Colebrook y según Nikuradse (fuente: Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau)

Todos los derechos reservados . G.U.N.T. Gerätebau GmbH., Alemania 06/98

La **cifra de Reynold Re** se calcula a partir del diámetro del tubo d , la velocidad de fluido v y la viscosidad cinemática ν

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

La viscosidad cinemática del agua se puede obtener de la tabla del anexo 4.4 en función de la temperatura.

La **velocidad de fluido v** se calcula a partir del caudal \dot{V} y la sección transversal de tubo.

$$v = \frac{4 \dot{V}}{\pi d^2}$$

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



En el caso de los **tubos lisos hidráulicamente** ($Re < 65 d/k$) y cuando la cifra de Reynold se encuentra dentro de $2.320 < Re < 10^5$, el coeficiente de fricción del tubo se calcula mediante la fórmula de **Blasius**:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}.$$

En el caso de los **tubos en el área de paso a tubos rugosos** ($65 d/k < Re < 1300 d/k$, área del diagrama por debajo de la curva límite), el coeficiente de fricción del tubo se calcula según **Colebrook**:

$$\lambda = \left[2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{0,27}{d/k} \right) \right]^{-2}.$$

Se trata de una fórmula implícita que se debe resolver iterativamente. Primero se calcula λ , se emplea la fórmula y se calcula una primera aproximación. Esta aproximación se vuelve a utilizar en la ecuación para calcular una segunda aproximación.

Cuando el valor estimado se toma del diagrama según Colebrook y Nikuradse, la primera aproximación suele ser lo suficiente precisa y los valores empiezan a diferenciarse a partir del tercer decimal.

3.4 Coeficientes de resistencia de elementos especiales de tuberías

3.4.1 Fundamentos

Algunos elementos y complementos especiales de las tuberías, como cuadrantes de tubo o codos, ramificaciones de tubos, modificaciones de la sección transversal o incluso válvulas generan pérdidas de presión adicionales además de las pérdidas por fricción de la pared. Cuando se modifica la sección transversal y las velocidades asociadas, en la pérdida de presión total también se deben tener en cuenta porcentajes de la pérdida de presión de Bernoulli (presión dinámica). La **ecuación de Bernoulli** con elemento de pérdida es:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 + \Delta p_v.$$

Siempre que las alturas z_1 y z_2 sean iguales, de aquí se deriva la **pérdida de presión total** mensurable:

$$\Delta p_{ges} = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) + \Delta p_v.$$

El **nivel de pérdida** es:

$$h_{vtot} = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_v.$$

Salvo algunos casos excepcionales, las demás resistencias al flujo no se pueden calcular del todo, a diferencia de las pérdidas por fricción de la pared estudiadas en el apartado anterior.

En la literatura se indican coeficientes de fricción ζ calculados empíricamente para los distintos elementos. Éstos permiten calcular fácilmente las pérdidas de presión adicionales:

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



$$p_{vz} = \zeta \rho \frac{v^2}{2} \quad \text{o} \quad h_{vz} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

De este modo, respecto al nivel de pérdida total se puede afirmar lo siguiente:

$$h_{vtot} = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + \frac{\lambda_1 l_1}{2g} \frac{v_1^2}{d_1} + \frac{\lambda_2 l_2}{2g} \frac{v_2^2}{d_2} + \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

Las resistencias por fricción del tubo de una pieza se deben determinar por separado antes y después de modificar la sección transversal. En cambio, el coeficiente de resistencia sólo hace referencia a la velocidad v_2 una vez modificada la sección transversal.

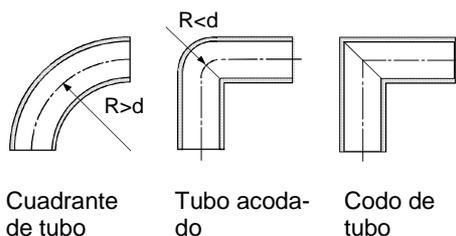
Cuando las velocidades coinciden, el porcentaje de la presión dinámica es innecesario y se utiliza un porcentaje de fricción del tubo conjunto. A partir del nivel de pérdida total medido y de la fricción de tubo conocida, se puede calcular el coeficiente de resistencia ζ

$$\zeta = \frac{2 h_{vtot} g}{v_2^2} - \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right] - \left[\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right]$$

Si no hay modificación de la sección transversal ($d_1/d_2 = 1$), la fórmula es más simple:

$$\zeta = \frac{2 h_{vtot} g}{v^2} - \lambda \frac{l}{d}$$

3.4.2 Codo

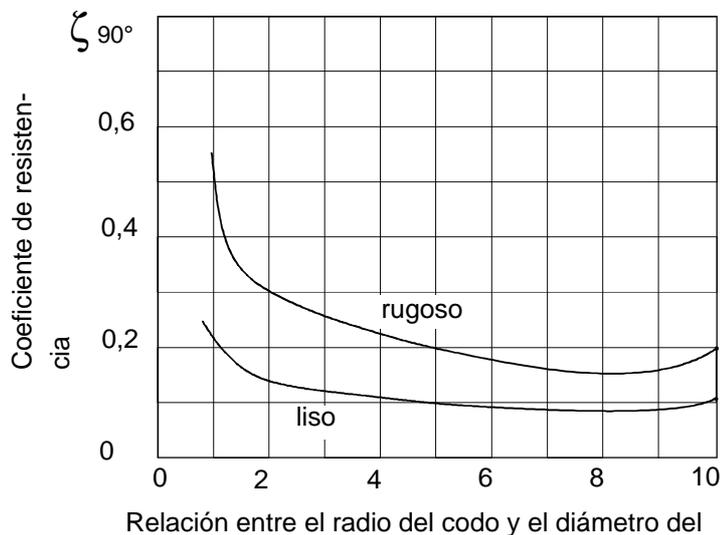


En el caso de los codos, existe una dependencia entre el coeficiente de resistencia ζ de la escuadra de cambio de la inundación y la relación entre el radio del codo y el diámetro del tubo. Además, el coeficiente de resistencia depende de la forma del codo. Para este caso especial, un codo de tubo

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



con una desviación de 90°, el diagrama siguiente es válido tanto para tubos lisos como rugosos.



En el caso de los tubos acodados, es decir, radios de codo inferiores al diámetro del tubo ($R/d < 1$), se pueden utilizar los coeficientes de resistencia de las piezas acodadas como aproximación. Así, por ejemplo, para una pieza acodada/dobladura de 90° y un tubo liso, ζ sería 1,13; si el tubo es rugoso, ζ sería 1,68; si la pieza fuera de 45, $\zeta_{\text{liso}} = 0,24$ y $\zeta_{\text{rugoso}} = 0,36$.

La resistencia de flujo de los codos con ángulos de flexión pequeños δ de 90 se puede calcular proporcionalmente de forma lineal:

$$\zeta_{\delta} = \zeta_{90} \frac{\delta}{90}.$$

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



3.4.3 Realización de ensayos

En el ensayo siguiente se estudian los codos en el tramo de medición. El nivel de pérdida h_v siempre se mide a través de un elemento.

La conexión del manómetro y las mediciones se efectúan como se describe en el capítulo 2.

Para los valores de medición siguientes se ha ajustado el caudal máximo.

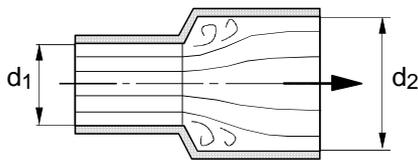
Resultado de medición a modo de ejemplo:

Codo	Caudal \dot{V} en l/min	Nivel de pérdida h_v en mm
Codo de tubo de 90°, PVC, d = 17 mm	18,75	245
Angulo de 90°, PVC, d = 17 mm	18,75	175
Arco de 90°, R = 40 mm PVC, d = 17 mm	18,75	135
Arco de 90°, R = 100 mm PVC, d = 17 mm	18,75	130

Según la pérdida de presión o el nivel de pérdida h_v , se pueden ver con claridad la dependencia descrita en la teoría entre la resistencia y la escuadra de cambio, y la relación entre el radio de codo y el diámetro de tubo. El codo de tubo presenta la resistencia mayor con la desviación de ángulos vivos. También se puede ver con claridad que la resistencia disminuye cuando mayor es la relación R/d .

3.5 Modificaciones de la sección transversal

Las modificaciones de sección transversal disponibles en el equipo de prácticas son una ampliación irregular o estrechamiento. Para la modificación irregular de sección transversal, el coeficiente de resistencia se puede derivar de la ecuación de Bernoulli y del principio de impulsión.

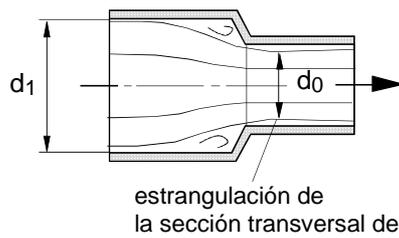


En el caso de la **ampliación**,

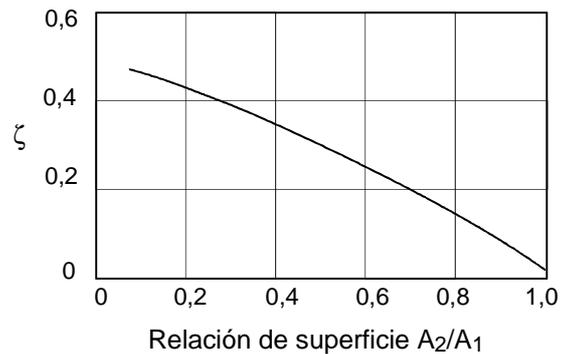
$$\zeta = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} - 1 \right)^2.$$

En el caso del **estrechamiento**,

$$\zeta = \left(\frac{A_1}{A_0} - 1 \right)^2 = \left(\frac{d_1^2}{d_0^2} - 1 \right)^2.$$



Siendo A_0 y d_0 la sección transversal contraída. Dado que no se suele conocer, en el caso de los estrechamientos se toma el coeficiente de resistencia del diagrama siguiente.



Coficiente de resistencia en estrechamiento irregular

Si hay modificación constante de la sección transversal, los coeficientes de resistencia se pueden obtener de diagramas especiales (anexo 4.4).

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



3.5.1 Realización de ensayos

En el ensayo siguiente se estudian la ampliación y el estrechamiento en el tramo de medición. El nivel de pérdida h_v siempre se mide en mm mediante un elemento.

La conexión del manómetro y las mediciones se efectúan como se describe en el capítulo 2.

Para los valores de medición siguientes se ha ajustado un caudal constante.

Resultado de medición a modo de ejemplo:

Codo	Caudal \dot{V} en l/min	Nivel de pérdida h_v en mm
Estrechamiento, PVC, d = 17 mm con d = 9,6 mm	8	255
Ampliación, PVC, d = 9,6 mm con d = 17 mm	8	5

Es interesante destacar que en el caso de ampliación apenas hay pérdida de presión. Quizá incluso se dé un aumento de la presión si el aumento de la presión por la pérdida de velocidad supera la caída de presión por fricción del tubo.

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



4 Datos técnicos

4.1 Dimensiones principales del equipo de prácticas

Largo	875	mm
Ancho	640	mm
Alto	900	mm
Peso	25	kg

4.2 Componentes

- Manómetro de 6 tubitos para medir la presión diferencial
Rango de medición: 0 a 0,03 bares / 0 a 300 mm Ws
- Manómetro de tubo elástico
Rango de medición: 0 a 0,6 bares / 0 a 6.000 mm Ws
- 11 cámaras anulares con tubuladura de medición
- Estrechamiento irregular
PVC, d = 17 mm con d = 9,6 mm
- Ampliación irregular
PVC, d = 9,6 mm con d = 17 mm
- Codo de tubo de 90, d = 17 mm
- ngulo de 90, d = 17 mm
- Arco de 90, d = 17 mm, R = 40 mm
- Arco de 90, d = 17 mm, R = 100mm
- Válvula de bola, d = 17 mm

06/98

Reservados todos los derechos G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel,

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



4.3 Bibliografía

Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Kalide,
Einführung in die technische Strömungslehre,
Carl Hanser Verlag,
6., durchgesehene Auflage, München Wien 1984

Dubbel
Taschenbuch für den Maschinenbau
Springer Verlag,
16. Auflage

4.4 Tablas y diagramas

Rugosidades de pared

Rugosidades de pared		
Material	Superficie	Rugosidad de pared k en mm
Tubo de cobre, Cu	Técnicamente plano	0,001
Tubo de PVC	Técnicamente plano	0,001
Tubo de acero, St	Galvanizado	0,100

Viscosidad cinemática del agua

Viscosidad cinemática del agua en función de la temperatura (según Kalide: Technische Strömungslehre)	
Temperatura en °C	Viscosidad cinemática ν en $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
15	1.134
16	1.106
17	1.079
18	1.055
19	1.028
20	1.004
21	0.980
22	0.957
23	0.935
24	0.914
25	0.894
26	0.875

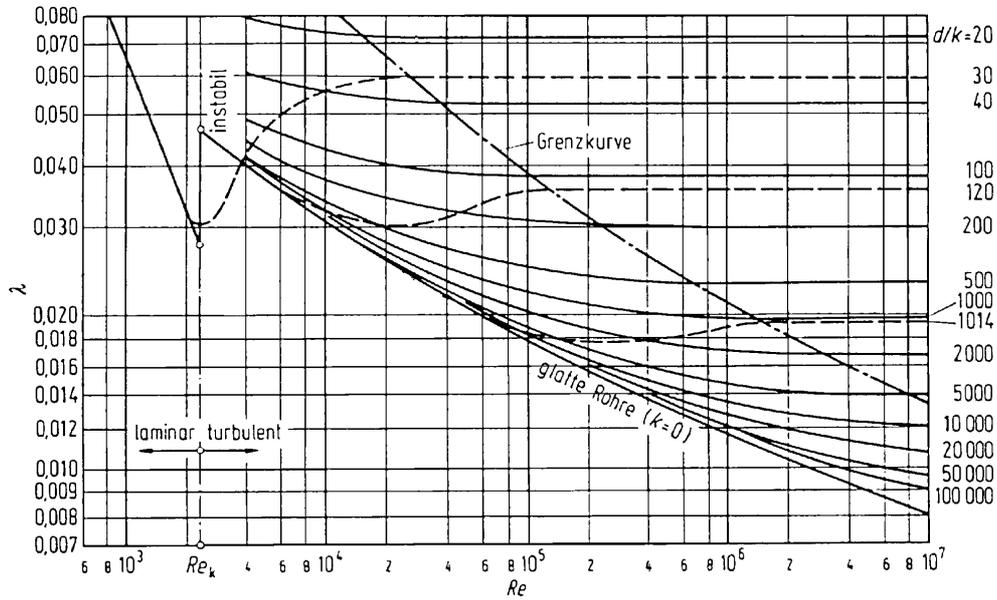
06/98

Reservados todos los derechos G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel,

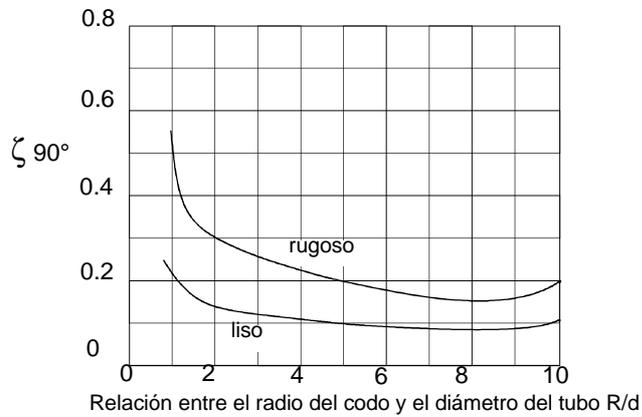
HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



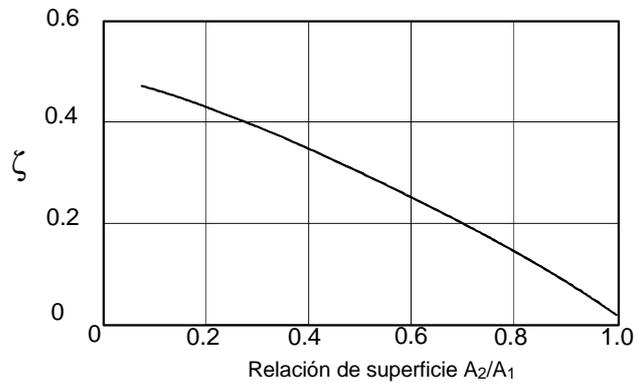
Reservados todos los derechos G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, 06/98



Coefficiente de fricción del tubo λ según Colebrook y () según Nikuradse (fuente: Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau)



Coefficiente de resistencia ζ para codos de 90°



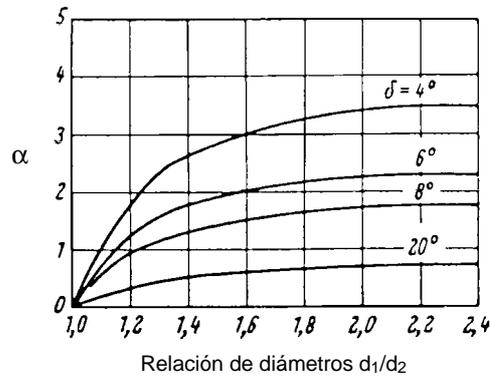
Coefficiente de resistencia ζ en estrechamiento irregular

HM150.29 Pérdidas en codos y empalmes de Tuberías



06/98

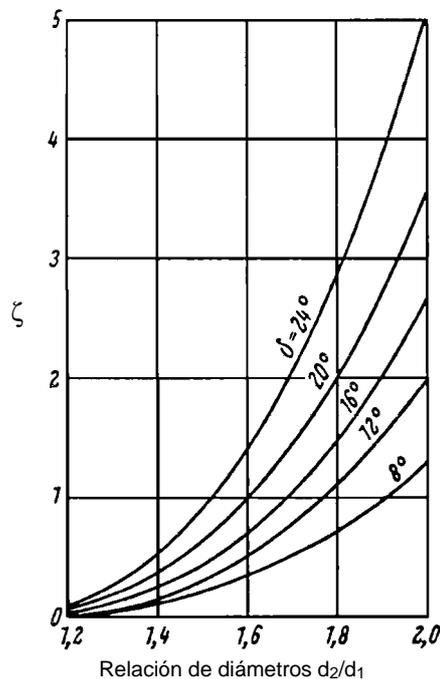
Reservados todos los derechos G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel,



Factor de fricción de pared α en estrechamiento continuo (tobera) en función del ángulo de estrechamiento δ

$$\zeta = \alpha \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

(de Kalide: Einführung in die technische Strömungslehre)



Cifras de resistencia en ampliación constante (difusor) en función del ángulo del difusor δ

(de Kalide: Einführung in die technische Strömungslehre)