

Ejercicios de Tuberías de Vapor

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética

Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es

Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28

<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>

Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

Se tiene un tramo de tubería de acero inoxidable de 200m de longitud por el que se transportan 700kg/h de vapor a 10bar absolutos y 200°C. La tubería tiene un diámetro interior de 50mm y presenta una rugosidad de 0,002mm. Calcular la pérdida de carga en el tramo

Calcular la Pérdida de Carga con:

• el Caudal de Vapor

• el Diámetro de la Tubería

Se tiene un tramo de tubería de acero inoxidable de 200m de longitud por el que se transportan 700kg/h de vapor a 10bar absolutos y 200°C. La tubería tiene un diámetro interior de 50mm y presenta una rugosidad de 0,002mm. Calcular la pérdida de carga en el tramo

El proceso operativo es el siguiente:

- Con los datos de T y p del vapor se debe buscar en las tablas de vapor la viscosidad cinemática y la densidad
- Teniendo en cuenta los accesorios y diámetro, se debe calcular la longitud equivalente de la tubería
- Con el diámetro de la tubería y el caudal del fluido se debe calcular la velocidad (hay que comprobar que no se superan los valores recomendados en las Tablas)
- Haciendo uso de la velocidad, el diámetro y la viscosidad cinemática se debe calcular el número de Reynolds
- En caso de ser régimen turbulento, caso más habitual, se debe calcular la rugosidad relativa de la tubería
- Se debe calcular el factor de fricción, ya sea utilizando el diagrama de Moody o la fórmula de White-Colebrook
- Se determina la pérdida de carga (en ,m.c. del fluido) utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach teniendo en cuenta la longitud equivalente de la tubería
- Se puede calcular la pérdida de carga en otras unidades
- ITERAR con la P media en la tubería

$$v \text{ (m/s)} = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{/s)}}{S \text{ (m}^2 \text{)}}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2 \text{/s)}}$$

$$\frac{\varepsilon \text{ (m)}}{D \text{ (m)}} = \frac{\varepsilon \text{ (mm)}}{D \text{ (mm)}} = \dots$$

$$h_L \text{ (m.c.vapor)} = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta P \text{ (Pa)} = \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot h_L \text{ (m.c.vapor)}$$

Se tiene un tramo de tubería de acero inoxidable de 200m de longitud por el que se transportan 700kg/h de vapor a 10bar absolutos y 200°C. La tubería tiene un diámetro interior de 50mm y presenta una rugosidad de 0,002mm. Calcular la pérdida de carga en el tramo

$$\rho = 4,85 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu = 3,27 \text{ cSt}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$v = 20,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = 3,12 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00004$$

$$f = 0,015$$

$$h_L = 1.274 \text{ m.c.vapor}$$

$$\Delta P = 0,6 \text{ bar}$$

Hay que diseñar una tubería de rugosidad 0,05mm y 80m de longitud para transportar 800kg/h de vapor suministrados por una caldera a 3,5bar y 150°C, requiriendo al final al menos 2,5bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería

Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de Vapor

Hay que diseñar una tubería de rugosidad 0,05mm y 80m de longitud para transportar 800kg/h de vapor suministrados por una caldera a 3,5bar y 150°C, requiriendo al final al menos 2,5bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería

El proceso operativo es iterativo, y es el siguiente:

- Con los datos de T y p del vapor se debe buscar, en las tablas del vapor la viscosidad cinemática y la densidad
- Se calcula el caudal másico
- Al no disponer del diámetro, se debe estimar la L_{eq} de la tubería (Se deberá comprobar la validez de la estimación realizada)
- Se debe estimar el factor de fricción, típicamente:
 - Suponer un valor en torno a 0.02 o 0.025 (Se deberá comprobar la validez de la suposición realizada)
- Se expresa la pérdida de presión en m.c.del fluido
- Se debe determinar el ϕ haciendo uso de la fórmula de Darcy-Weisbach
- Se deben comprobar que se cumplen las suposiciones realizadas:
 - λ ; para lo que hay que calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa
 - La longitud equivalente de la tubería

En el caso de que las estimaciones no fueran correctas, se debe iterar partiendo de los nuevos valores

- Se debe comprobar que la velocidad es inferior a la recomendada

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = M \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$h_L \text{ (m.c.f.)} = \frac{\Delta P \text{ (Pa)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}}$$

$$h_L = f \cdot \frac{L_{eq_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \Rightarrow D^5 = f \cdot \frac{L_{eq_Tub}}{h_L} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2\text{/s)}} \quad \frac{\epsilon \text{ (m)}}{D \text{ (m)}} =$$

Hay que diseñar una tubería de rugosidad 0,05mm y 80m de longitud para transportar 800kg/h de vapor suministrados por una caldera a 3,5bar y 150°C, requiriendo al final al menos 2,5bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería

$$\rho \approx 2,12 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu \approx 6,6 \text{ cSt}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$h_{L \text{ vapor}} = 4.790 \text{ m.c.vapor}$$

$$v = 53 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 4 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,001$$

$$f = 0,021$$

$$D = 0,05 \text{ m}$$

Una caldera produce vapor a 9 bar y 230°C, y se envía por una tubería circular de 250m, 75mm de diámetro y 0,05mm de rugosidad, requiriendo el consuno 7 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

Calcular el Caudal de Vapor con:

- el Diámetro de la Tubería
- la Pérdida de Carga admisible

Una caldera produce vapor a 9 bar y 230°C, y se envía por una tubería circular de 250m, 75mm de diámetro y 0,05mm de rugosidad, requiriendo el consuno 7 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

El proceso operativo es iterativo, y es el siguiente:

- Con los datos de temperatura y presión se debe buscar en las tablas de vapor la viscosidad cinemática
- Teniendo en cuenta los accesorios y diámetro, se debe calcular la longitud equivalente de la tubería
- Se debe calcular la rugosidad relativa de la tubería
- Se debe estimar el factor de fricción, para lo que hay dos opciones:
 - Suponer un valor en torno a 0.02 o 0.025
 - Suponer que el flujo estará desarrollado, y hallarlo en el gráfico de Moody a partir de la rugosidad relativa
 (Posteriormente se debe comprobar la validez de la suposición realizada)
- Se debe expresar la pérdida de presión en m.c.del fluido
- Se debe determinar la velocidad haciendo uso de la fórmula de Darcy-Weisbach
- Se deben comprobar que se cumplen la suposición realizadas con el factor de fricción, para lo que hay que calcular el número de Reynolds

En el caso de que las estimaciones no fueran correctas, se debe realizar una iteración partiendo del nuevo factor de fricción

- Se calculan los caudales volumétrico y másico a partir de la velocidad, el diámetro de la tubería y la densidad del fluido

$$\frac{\varepsilon (m)}{D (m)} = \frac{\varepsilon (mm)}{D (mm)} = \dots$$

$$h_L \text{ (m.c.f.)} = \frac{\Delta P \text{ (Pa)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{h_L \cdot D \cdot 2 \cdot g}{f \cdot L_{eq_Tub}}}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2\text{/s)}}$$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = v \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$$

$$M \left(\frac{kg}{h} \right) = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Una caldera produce vapor a 9 bar y 230°C, y se envía por una tubería circular de 250m, 75mm de diámetro y 0,05mm de rugosidad, requiriendo el consuno 7 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

$$\rho = 4,02 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu \approx 4,45 \text{ cSt}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00067$$

$$h_{L \text{ vapor}} = 5.077 \text{ m.c.vapor}$$

$$v = 39,64 \text{ m/s}$$

$$Re = 6,68 \cdot 10^5$$

$$f = 0,019$$

$$Q = 630 \text{ m}^3 / h$$

$$M = 2.533 \text{ kg/h}$$

Se tiene una tubería de 125m de longitud por la que se transportan 500kg/h de vapor a una presión manométrica de 10bar y 240°C. La tubería tiene un diámetro interior de 35mm y presenta una rugosidad de 0,02mm. Calcular en bar la pérdida de carga en el tramo

Calcular la Pérdida de Carga con:

- el Caudal de Vapor
- el Diámetro de la Tubería

Se tiene una tubería de 125m de longitud por la que se transportan 500kg/h de vapor a una presión manométrica de 10bar y 240°C. La tubería tiene un diámetro interior de 35mm y presenta una rugosidad de 0,02mm. Calcular en bar la pérdida de carga en el tramo

El proceso operativo es el siguiente:

- Con los datos de T y p del vapor se debe buscar en las tablas de vapor la viscosidad cinemática y la densidad
- Teniendo en cuenta los accesorios y diámetro, se debe calcular la longitud equivalente de la tubería
- Con el diámetro de la tubería y el caudal del fluido se debe calcular la velocidad (hay que comprobar que no se superan los valores recomendados en las Tablas)
- Haciendo uso de la velocidad, el diámetro y la viscosidad cinemática se debe calcular el número de Reynolds
- En caso de ser régimen turbulento, caso más habitual, se debe calcular la rugosidad relativa de la tubería
- Se debe calcular el factor de fricción, ya sea utilizando el diagrama de Moody o la fórmula de White-Colebrook
- Se determina la pérdida de carga (en ,m.c. del fluido) utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach teniendo en cuenta la longitud equivalente de la tubería
- Se puede calcular la pérdida de carga en otras unidades
- ITERAR con la P media en la tubería

$$v \text{ (m/s)} = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{ /s)}}{S \text{ (m}^2 \text{)}}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2 \text{ /s)}}$$

$$\frac{\varepsilon \text{ (m)}}{D \text{ (m)}} = \frac{\varepsilon \text{ (mm)}}{D \text{ (mm)}} = \dots$$

$$h_L \text{ (m.c.vapor)} = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta P \text{ (Pa)} = \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot h_L \text{ (m.c.vapor)}$$

Se tiene una tubería de 125m de longitud por la que se transportan 500kg/h de vapor a una presión manométrica de 10bar y 240°C. La tubería tiene un diámetro interior de 35mm y presenta una rugosidad de 0,02mm. Calcular en bar la pérdida de carga en el tramo

$$\rho = 4,86 \text{ kg/m}^3$$

$$v \approx 3,72 \text{ cSt}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$v = 29,7 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 2,8 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00057$$

$$f = 0,019$$

$$h_{L \text{ vapor}} = 3.054 \text{ m.c.vapor}$$

$$\Delta P = 1,4 \text{ bar}$$

Hay que determinar el diámetro mínimo de una tubería de rugosidad 0,02mm y de 175m de longitud por la que hay que transportar 2.000kg/h de vapor suministrados por una caldera a 9bar y 190°C, requiriendo al final al menos 8bar (ambas P son manométricas)

Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de Vapor

Hay que determinar el diámetro mínimo de una tubería de rugosidad 0,02mm y de 175m de longitud por la que hay que transportar 2.000kg/h de vapor suministrados por una caldera a 9bar y 190°C, requiriendo al final al menos 8bar (ambas P son manométricas)

El proceso operativo es iterativo, y es el siguiente:

- Con los datos de T y p del vapor se debe buscar, en las tablas del vapor la viscosidad cinemática y la densidad
 - Se calcula el caudal volumétrico
 - Al no disponer del diámetro, se debe estimar la L_{eq} de la tubería (Se deberá comprobar la validez de la estimación realizada)
 - Se debe estimar el factor de fricción, típicamente:
 - Suponer un valor en torno a 0.02 o 0.025
 (Se deberá comprobar la validez de la suposición realizada)
 - Se expresa la pérdida de presión en m.c.del fluido
 - Se debe determinar el ϕ haciendo uso de la fórmula de Darcy-Weisbach
 - Se deben comprobar que se cumplen las suposiciones realizadas:
 - λ ; para lo que hay que calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa
 - La longitud equivalente de la tubería
- En el caso de que las estimaciones no fueran correctas, se debe iterar partiendo de los nuevos valores
- Se debe comprobar que la velocidad es inferior a la recomendada

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = M \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$h_L \text{ (m.c.f.)} = \frac{\Delta P \text{ (Pa)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}}$$

$$h_L = f \cdot \frac{L_{eq_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \Rightarrow D^5 = f \cdot \frac{L_{eq_Tub}}{h_L} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2\text{/s)}} \quad \frac{\varepsilon \text{ (m)}}{D \text{ (m)}} =$$

Hay que determinar el diámetro mínimo de una tubería de rugosidad 0,02mm y de 175m de longitud por la que hay que transportar 2.000kg/h de vapor suministrados por una caldera a 9bar y 190°C, requiriendo al final al menos 8bar (ambas P son manométricas)

$$\rho = 4,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu \approx 3,41 \text{ cSt}$$

$$Q = 0,119 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$h_{L \text{ vapor}} = 2.180 \text{ m.c.vapor}$$

$$v = 39 \text{ m/s}$$

$$Re = 7,15 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00032$$

$$f = 0,0165$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

Una caldera produce vapor a 12 bar y 240°C, y se envía por una tubería circular de 200m, 70mm de diámetro y rugosidad $\epsilon = 0,05\text{mm}$, requiriendo el consumo 11 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

Calcular el Caudal de vapor con:

- el Diámetro de la Tubería
- la Pérdida de Carga

Hacer uno nuevo de estos

Con interpolación de tablas

Una caldera produce vapor a 12 bar y 240°C, y se envía por una tubería circular de 200m, 70mm de diámetro y rugosidad $\epsilon = 0,05\text{mm}$, requiriendo el consumo 11 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

El proceso operativo es iterativo, y es el siguiente:

- Con los datos de temperatura y presión se debe buscar en las tablas de vapor la viscosidad cinemática
- Teniendo en cuenta los accesorios y diámetro, se debe calcular la longitud equivalente de la tubería
- Se debe calcular la rugosidad relativa de la tubería
- Se debe estimar el factor de fricción, para lo que hay dos opciones:
 - Suponer un valor en torno a 0.02 o 0.025
 - Suponer que el flujo estará desarrollado, y hallarlo en el gráfico de Moody a partir de la rugosidad relativa
 (Posteriormente se debe comprobar la validez de la suposición realizada)
- Se debe expresar la pérdida de presión en m.c.del fluido
- Se debe determinar la velocidad haciendo uso de la fórmula de Darcy-Weisbach
- Se deben comprobar que se cumplen la suposición realizadas con el factor de fricción, para lo que hay que calcular el número de Reynolds

En el caso de que las estimaciones no fueran correctas, se debe realizar una iteración partiendo del nuevo factor de fricción

- Se calculan los caudales volumétrico y másico a partir de la velocidad, el diámetro de la tubería y la densidad del fluido

$$\frac{\epsilon (m)}{D (m)} = \frac{\epsilon (mm)}{D (mm)} = \dots$$

$$h_L \text{ (m.c.f.)} = \frac{\Delta P \text{ (Pa)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{h_L \cdot D \cdot 2 \cdot g}{f \cdot L_{eq_Tub}}}$$

$$Re = \frac{v \text{ (m/s)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2\text{/s)}}$$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = v \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$$

$$M \left(\frac{kg}{h} \right) = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Una caldera produce vapor a 12 bar y 240°C, y se envía por una tubería circular de 200m, 70mm de diámetro y rugosidad $\epsilon = 0,05\text{mm}$, requiriendo el consumo 11 bar (ambas P son manométricas). Calcular los kg/h de vapor que se pueden suministrar

$$\rho = 5,56 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu \approx 3,3 \text{ cSt}$$

Considerando que la longitud que ofrece el enunciado es la equivalente

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,00071$$

$$h_{L \text{ vapor}} = 1.835 \text{ m.c.vapor}$$

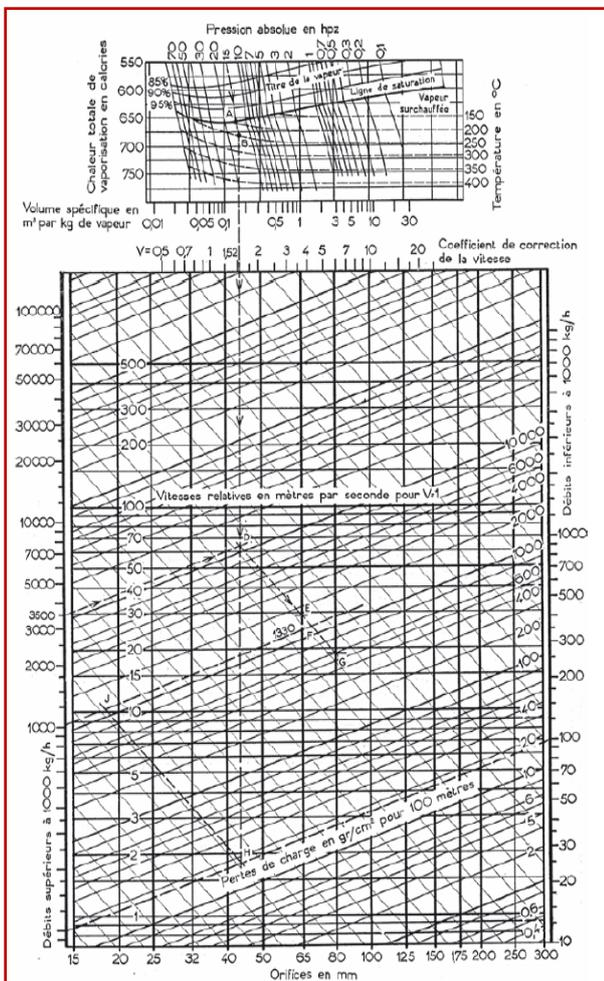
$$v = 25,7 \text{ m/s}$$

$$Re = 5,54 \cdot 10^5$$

$$f = 0,019$$

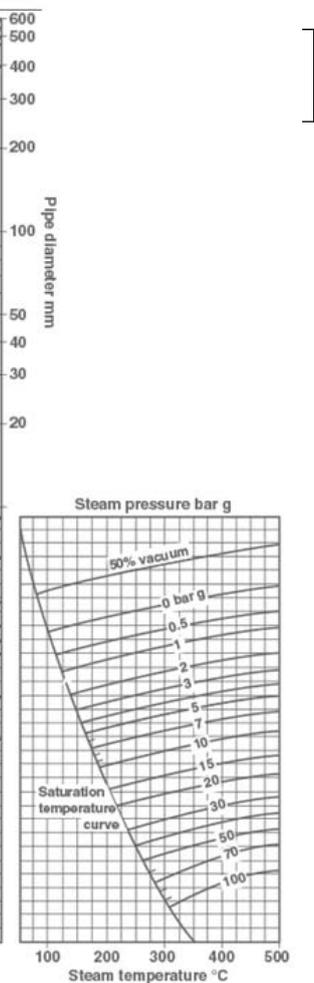
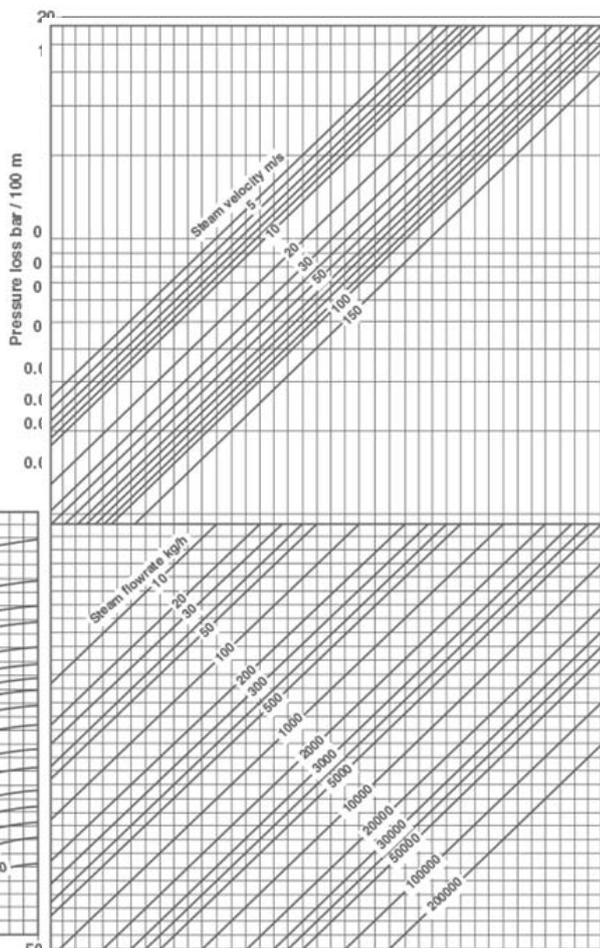
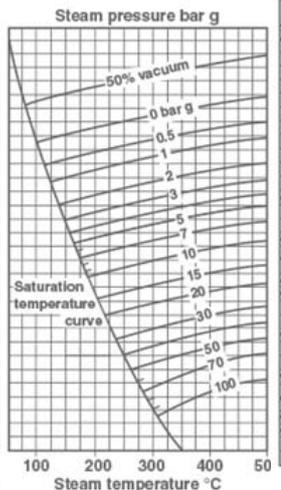
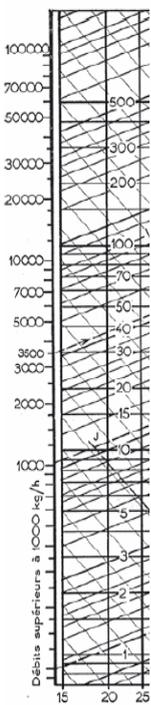
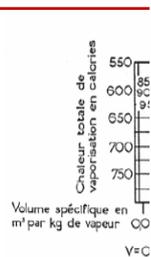
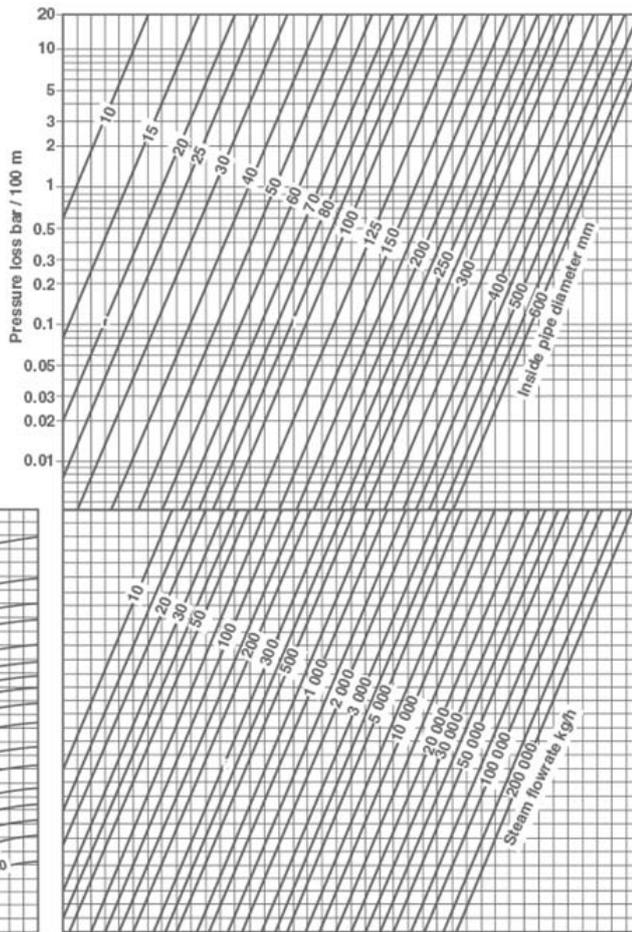
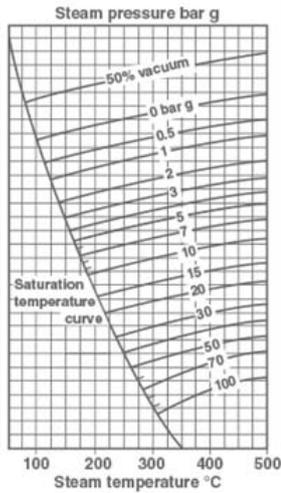
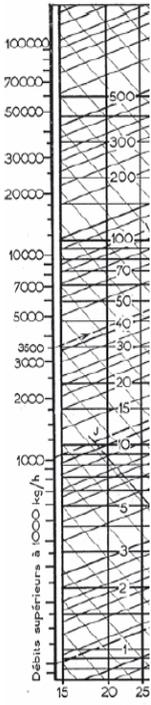
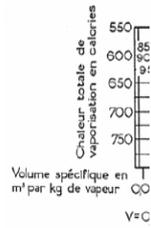
$$Q = 356 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$M = 1.979 \text{ kg/h}$$

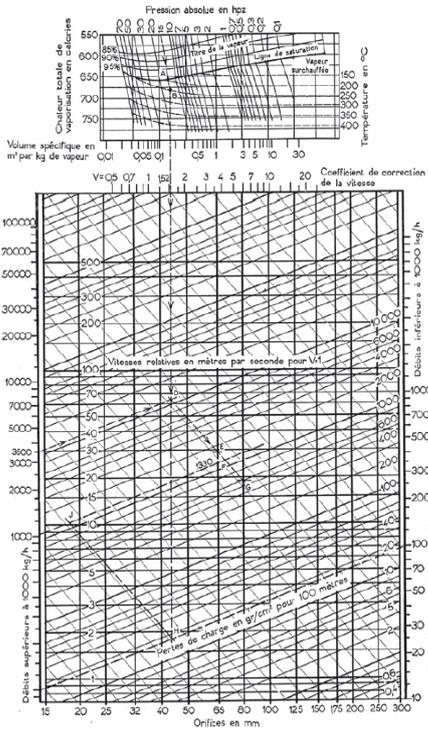


Hay fabricantes de tuberías y componentes que ofrecen gráficos alternativos

y componentes
tivos



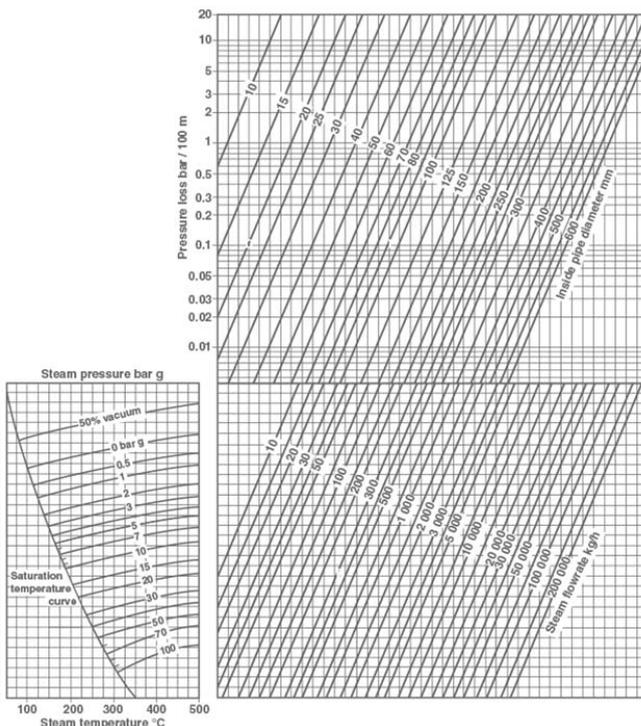
Hay que diseñar una tubería de 0,06mm de rugosidad y 150m de longitud para transportar 3.500kg/h de vapor suministrados por una caldera a 14 bar y 250°C, requiriendo al final al menos 12 bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería



Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de vapor

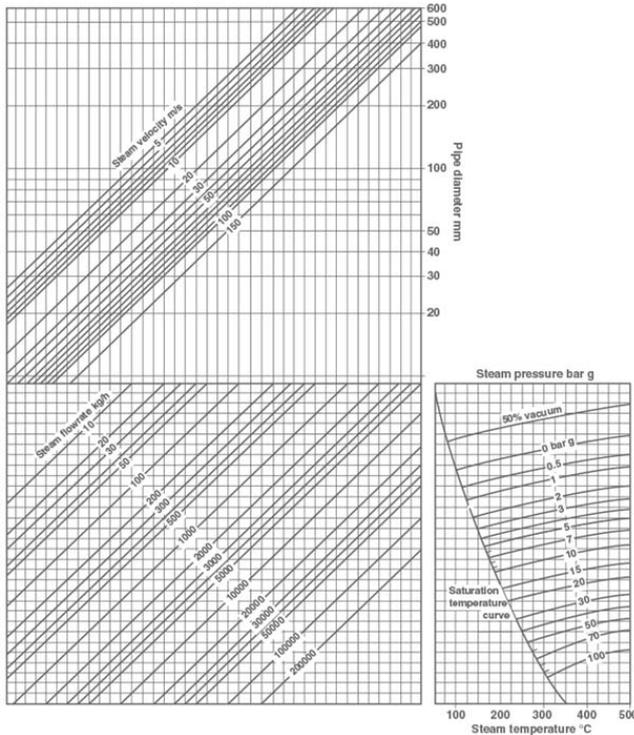
Hay que diseñar una tubería de 0,06mm de rugosidad y 150m de longitud para transportar 3.500kg/h de vapor suministrados por una caldera a 14 bar y 250°C, requiriendo al final al menos 12 bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería



Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de vapor

Hay que diseñar una tubería de 0,06mm de rugosidad y 150m de longitud para transportar 3.500kg/h de vapor suministrados por una caldera a 14 bar y 250°C, requiriendo al final al menos 12 bar (ambas P son manométricas). Calcular el diámetro mínimo de la tubería



Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de vapor

Por una tubería de 0,04mm de rugosidad, 150m de longitud y 50 mm de diámetro entra vapor a 15 bar y 280°C, y sale a 14 bar (ambas P son manométricas). Estimar el caudal circulante.

A la tubería anterior hay que hacerla una modificación de trazado, de modo que pasará a tener una longitud de 200 m. Calcular:

- la nueva pérdida de carga si la modificación se realiza manteniendo el diámetro original, y no se debe mantener el caudal inicial
- el nuevo diámetro de la tubería para que circule la misma cantidad de vapor con idéntica pérdida de carga que en el caso inicial
- el nuevo caudal si la modificación se realiza manteniendo el diámetro original, y la caída de presión en la tubería no se puede modificar

Calcular la Pérdida de Carga con:

- el Caudal de Vapor
- el Diámetro de la Tubería

Calcular el Diámetro de la Tubería con:

- la Pérdida de Carga admisible
- el Caudal de Vapor

Calcular el Caudal de Vapor con:

- el Diámetro de la Tubería
- la Pérdida de Carga admisible