

**MF. T4.- Flujo de Fluidos en Tuberías**

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](mailto: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

1

**MF. T4.- Flujo de Fluidos en Tuberías**

**Objetivos:**

En este tema, el más extenso del bloque, se analiza el flujo de un fluido por un conducto, por lo que se estudian las pérdidas de carga continuas y accidentales, aprendiendo a utilizar el ábaco de Moody. Se explica en este tema la forma de resolver los problemas derivados del cálculo de sistemas de tuberías

El aprendizaje se completa con una práctica de laboratorio en la que se determinará la pérdida de carga en tuberías y accesorios

2

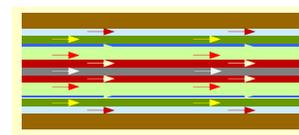
- 1.- Flujo Laminar y Turbulento
- 2.- Pérdidas de Energía por Fricción
- 3.- Perfiles de Velocidad
- 4.- Tensiones y Fuerzas en la Tubería
- 5.- Sistemas de Tuberías en Serie
- 6.- Sistemas de Dos Tuberías Paralelas
- 7.- Sistemas de Ramales de Tuberías
- 8.- Sistemas Ramificados y Redes de Tuberías (*Hardy Cross*)
- 9.- Equilibrado Hidráulico
- 10.- Diseño de Conductos

### 1.- Flujo Laminar y Turbulento (I)

**Flujo laminar:** las partículas se mueven en direcciones paralelas formando capas o láminas, el fluido es uniforme y regular.

La viscosidad domina el movimiento del fluido, donde

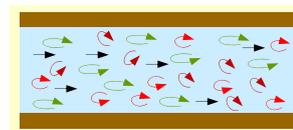
$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau \text{ es el cortante, } (=F / A) \\ \mu \text{ es la viscosidad dinámica (Pa.s)} \end{array} \right.$$



3

### 1.- Flujo Laminar y Turbulento (II)

**Flujo turbulento** las partículas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones; es imposible conocer la trayectoria individual de cada partícula



La caracterización del movimiento debe considerar los efectos de la viscosidad ( $\mu$ ) y de la turbulencia ( $\eta$ ); se hace con:

$$\tau = (\mu + \eta) \cdot \frac{dv}{dy} \quad \begin{array}{l} \eta \text{ depende de } \rho \text{ y del movimiento} \\ 0 \leq \eta \leq 10.000 \mu \end{array}$$

Se determina con resultados experimentales

Prandtl  $\tau = \rho \cdot l^2 \cdot \left( \frac{dv}{dy} \right)^2$

Von Karman  $\tau = \tau_0 \cdot \left( 1 - \frac{y}{r_0} \right) = \rho \cdot 0,4^2 \cdot \frac{(dv/dy)^4}{(d^2v/dy^2)^2}$

4

1.- Flujo Laminar y Turbulento (III)

¿Flujo laminar o turbulento? **Reynolds**, Re

$$Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu} \quad \left[ \frac{\text{m/s} \cdot \text{m}}{\text{m}^2/\text{s}} \right]$$

- v es la velocidad (m/s)
- $\nu$  es la viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)
- $L_c$  es la longitud característica
  - Para el interior de una tubería circular es el diámetro
  - Para una sección que no es circular  $L_c = 4 \cdot D_H$   
[ $D_H = \text{Area del flujo} / \text{Perímetro mojado}$ ]

Circular radio $R$	$D_H = \frac{\pi \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{R}{2}$	$L_c = 4 \cdot \frac{R}{2} = 2 \cdot R = D$	
Cuadrado lado $L$ :	$D_H = \frac{L^2}{4 \cdot L} = \frac{L}{4}$	$L_c = 4 \cdot \frac{L}{4} = L$	
Rectángulo lados $a$ y $b$	$D_H = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$	$L_c = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a + b)}$	
Sección circular $r_i$ y $r_e$	$D_H = \frac{\pi \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{2 \cdot \pi \cdot (r_i + r_e)} = \frac{(r_e^2 - r_i^2)}{2 \cdot (r_i + r_e)}$	$L_c = \frac{2 \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{(r_i + r_e)}$	

En conductos:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } Re < 2.000 \text{ flujo laminar} \\ \text{Si } Re > 4.000 \text{ flujo turbulento} \end{array} \right.$

$$Re_{\text{Critico}} = 2.000 \Rightarrow v_{\text{Critica}}$$

5

Determinar la velocidad crítica en una tubería de 20 mm de diámetro para:

- a) gasolina a 20°C,  $\nu = 6,48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- b) agua a 20°C,  $\nu = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- c) aceite a 20°C;  $\nu = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

6

2.- Pérdidas de Energía por Fricción (I)

La ecuación de *Darcy* marca las pérdidas por fricción,  $H_L$ , tanto en régimen laminar como turbulento

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$f$  ( $\lambda$ ) el factor de fricción  
 $L$  es la longitud de una tubería  
 $v$  la velocidad  
 $D$  el diámetro de la tubería  
 $g$  la gravedad

Conducto no circular:  $L_c$

Flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

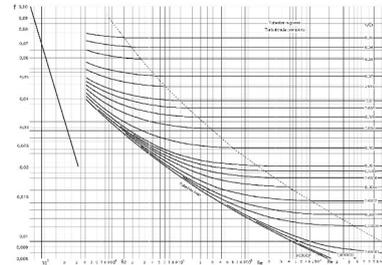
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \text{ (m)}$$

Flujo turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

$\epsilon$  la rugosidad de la tubería

Diagrama de Moody



2.- Pérdidas de Energía por Fricción (I)

La ecuación de *Darcy* marca las pérdidas por fricción,  $H_L$ , tanto en régimen laminar como turbulento

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

En tuberías circulares:  
 $H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\left( \frac{Q}{\pi \cdot (D/2)^2} \right)^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g}$

Conducto no circular:  $L_c$

Flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

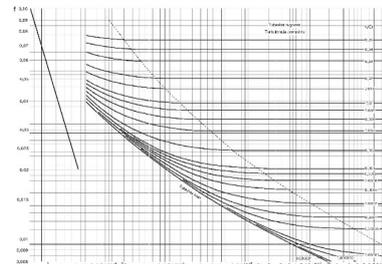
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \text{ (m)}$$

Flujo turbulento:

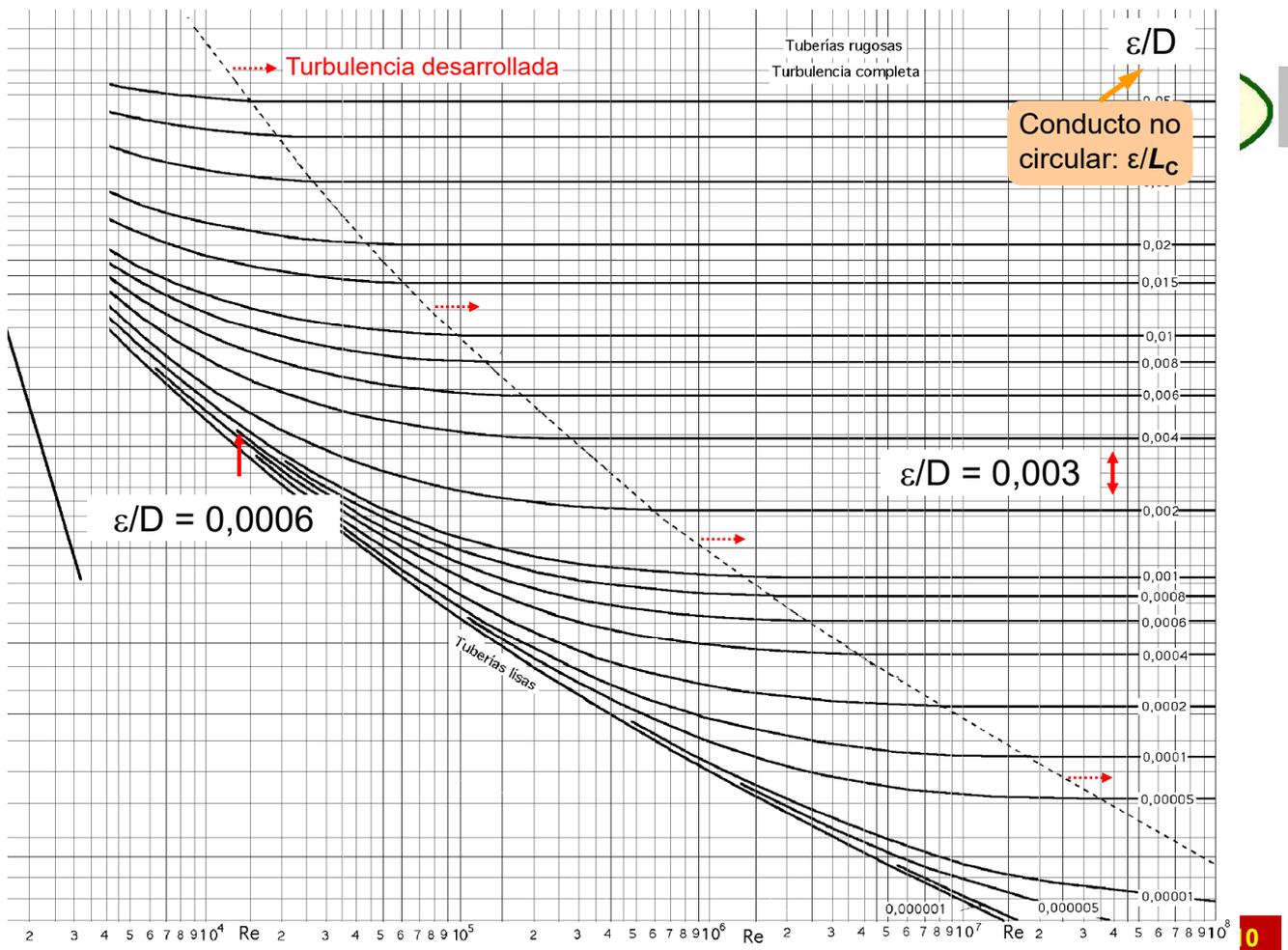
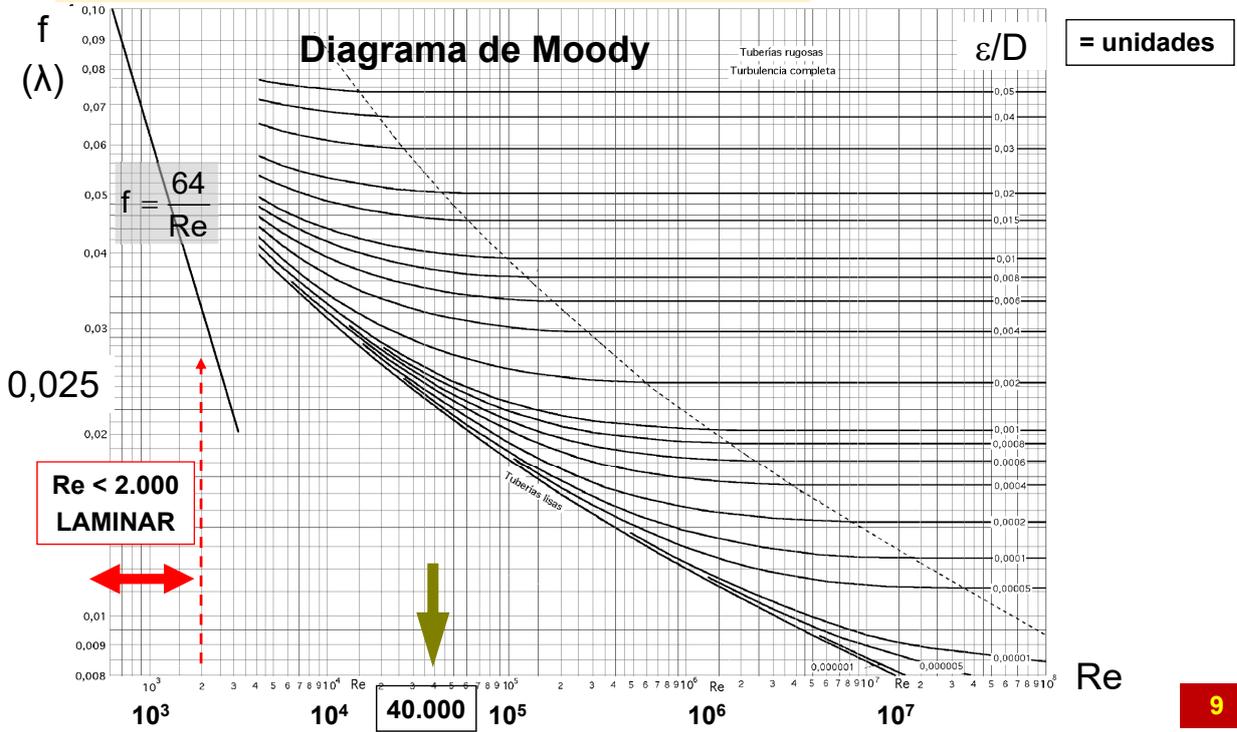
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

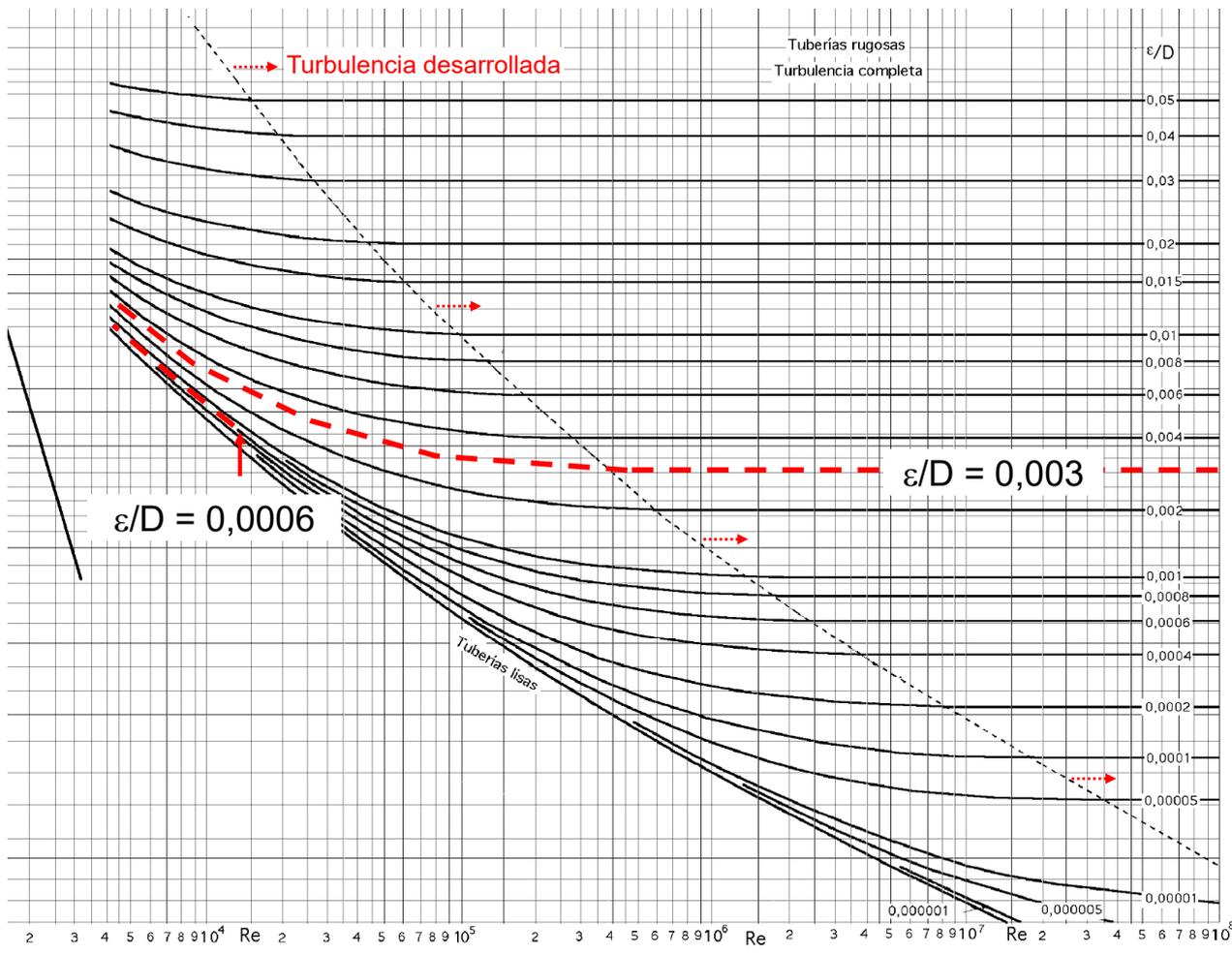
$\epsilon$  la rugosidad de la tubería

Diagrama de Moody



2.- Pérdidas de Energía por Fricción (II)





## T4.- FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS



### 2.- Pérdidas de Energía por Fricción (III)

Salida de depósito	A ras de pared		$0,5 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$
	Tubería entrante		$\frac{V^2}{2 \cdot g}$
	Tubería abocinada		$0,05 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$
Entrada a depósito			$\frac{V_1^2}{2 \cdot g}$
Ensanchamiento brusco			$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g}$

Ensanchamiento gradual	$K_g \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g}$
Vénturis, boquillas y orificios	$\left( \frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$
Contracción brusca	$K_b \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$
Codos, accesorios, válvulas	$K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$
Codos 45° K = 0,4	
Codos 90° K = 0,62	
Tees K = 1,75	

Ensanchamiento gradual para un ángulo total del cono, $K_g$						
4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37
0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,50	0,53
0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61
0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65
0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68
0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70
0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71
0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72
0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72

Contracción brusca	
$d_1/d_2$	$K_b$
1,2	0,08
1,4	0,17
1,6	0,26
1,8	0,34
2,0	0,37
2,5	0,41
3,0	0,43
4,0	0,45
5,0	0,46

**2.- Pérdidas de Energía por Fricción (IV)**

$$H_L = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$$K = f_{\text{tubo}} \cdot \frac{L_e}{D}$$

		Le/D
Válvula de globo abierta		340
Válvula de ángulo abierta		150
Válvula de compuerta	100% abierta	8
	75% abierta	35
	50% abierta	160
	25% abierta	900
Válvula de bola abierta		150
Válvula de mariposa abierta		45

		Le/D
Codo 90°		30
Codo 90° de gran radio		20
Codo 90° de calle		50
Codo 45°		16
Codo 45° de calle		25
T, flujo recto		20
T, flujo en ángulo		60

Nº de veces que el accesorio equivale en longitud a su diámetro

**2.- Pérdidas de Energía por Fricción (V)**

**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Conducto no circular:  $L_c$

Accesorio	Leq / D
Codo 45°	15
Codo 90° (radio standar)	32
Codo 90° (radio mediano)	26
Codo 90° (radio grande)	20
Angulo 90° (escuadra)	60
Codo 180°	75
Codo 180° (radio mediano)	50
TE (usada como codo, entrada por parte recta)	60
TE (usada como codo, entrada por derivación)	90
Válvula de compuerta (abierta)	7
Válvula de asiento (abierta)	300
Válvula angular (abierta)	170
Válvula de esfera (abierta)	3

**2.- Pérdidas de Energía por Fricción (VI)**

**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

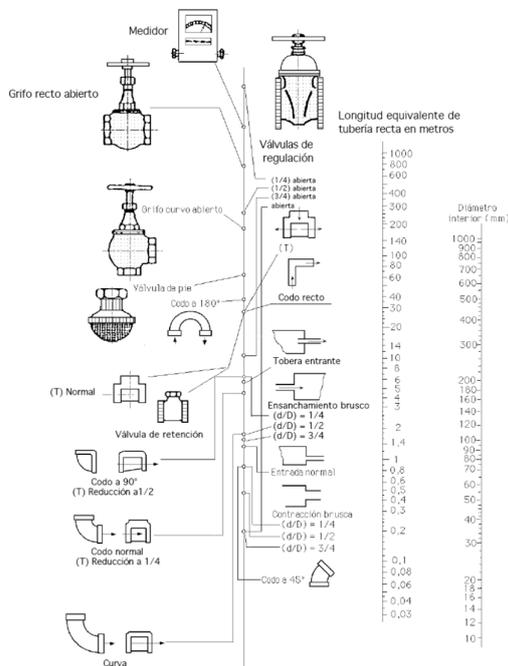
$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Conducto no circular:  $L_c$

Tablas del coeficiente de pérdida en: Redes Industriales de Tubería, A. Luszczewski, Ed Reverté

ABACO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS en metros de longitud de tubería equivalente



**2.- Pérdidas de Energía**

**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

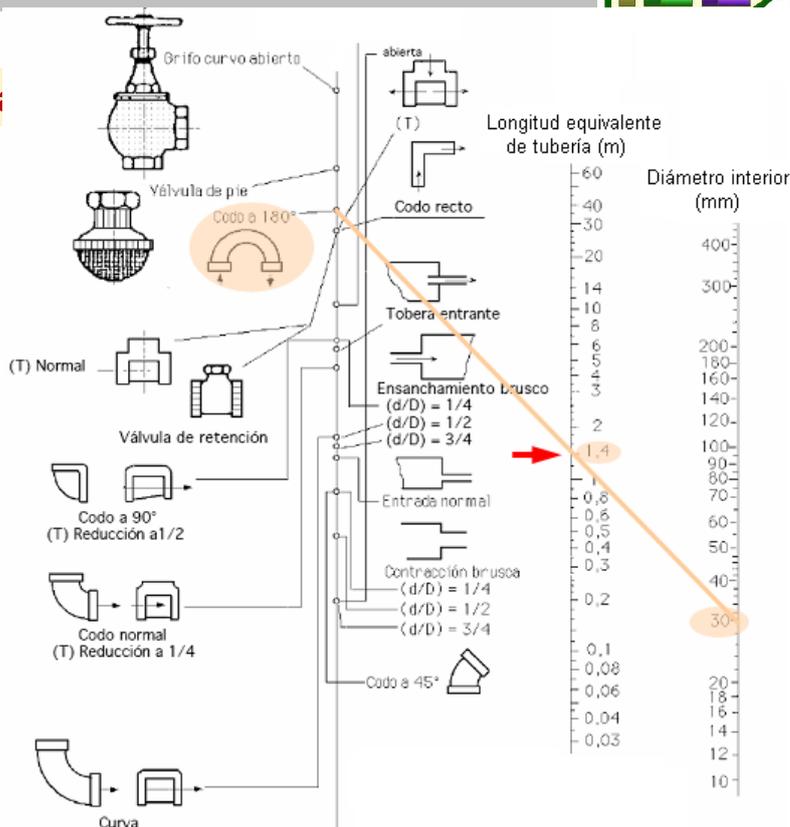
$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Conducto no circular:  $L_c$

Ej: Codo 180°,  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$

Tablas del coeficiente de pérdida en: Redes Industriales de Tubería, A. Luszczewski, Ed Reverté



2.- Pérdidas de Energía por Fricción (VIII)

**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

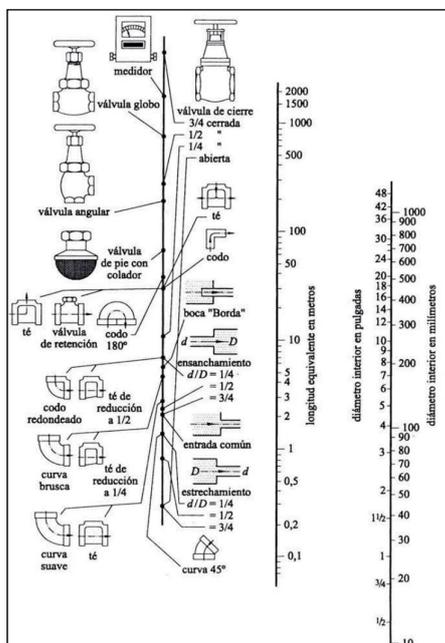
$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Conducto no circular:  $L_C$



Tubería de  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$ , 10 m y un codo de  $180^\circ$   
tiene las mismas pérdidas de carga ( $H_L$ ) que otra  
tubería de  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$  y 11,4 m

Determinar la longitud equivalente de una tubería de 150 m de longitud y 50 cm de diámetro que tiene instalados: 4 codos de  $90^\circ$  de radio estándar, 3 codos de  $45^\circ$  y 2 válvulas de compuerta



Determinar la longitud equivalente de una tubería de 150 m de longitud y 50 cm de diámetro que tiene instalados: 4 codos de 90° de radio estándar, 3 codos de 45° y 2 válvulas de compuerta

Accesorio	Leq / D
Codo 45°	15
Codo 90° (radio standar)	32
Válvula de compuerta (abierta)	7

Nominal Pipe Size (NPS) [pulgadas]	Diámetro Nominal DN [mm]
1/8	6
1/4	8
3/8	10
1/2	15
3/4	20
1	25
1 1/4	32
1 1/2	40
2	50
2 1/2	65
3	80
3 1/2	90
4	100
4 1/2	115
5	125

Nominal Pipe Size (NPS) [pulgadas]	Diámetro Nominal DN [mm]
6	150
8	200
10	250
12	300
14	350
16	400
18	450
20	500
24	600
28	700
32	800
36	900
40	1000
44	1100

Nominal Pipe Size (NPS) [pulgadas]	Diámetro Nominal DN [mm]
48	1200
52	1300
56	1400
60	1500
64	1600
68	1700
72	1800
76	1900
80	2000
88	2200
96	2400
104	2600
112	2800
120	3000
128	3200



2.- Pérdidas de Energía por Fricción (IX)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

Conducto no circular:  $L_c$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$$H_L = cte \cdot v^2 \text{ (m)}$$

$$cte = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{1}{2 \cdot g}$$

$$cte_2 = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D}$$

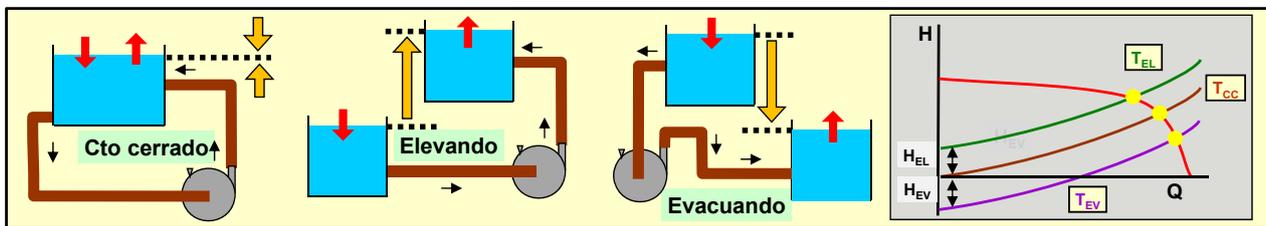
$$cte = cte_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot g}$$

• Ec. Tubería en circuito cerrado o tubería sin cota de elevación:  $H_L = cte \cdot v^2 \text{ (m)}$

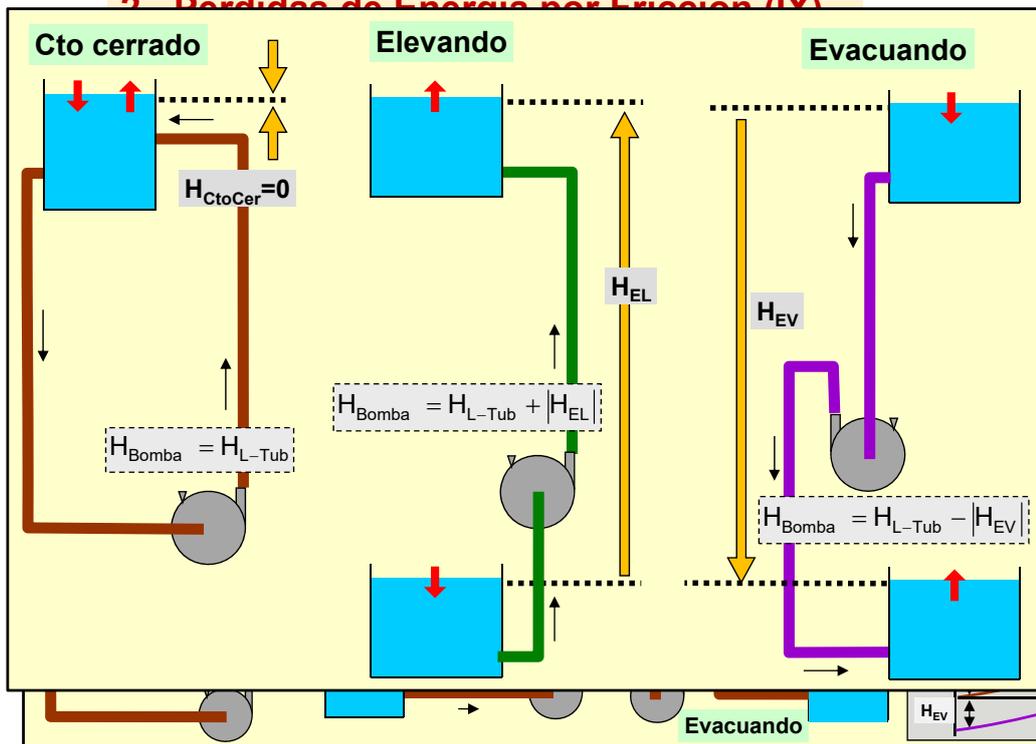
• Ec. Tubería de elevación:  $H_L = H_{elevación} + cte \cdot v^2 \text{ (m)}$

$$H_L = cte_2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

• Ec. Tubería de evacuación:  $H_L = cte \cdot v^2 - H_{evacuación} \text{ (m)}$



2.- Pérdidas de Energía por Fricción (IX)

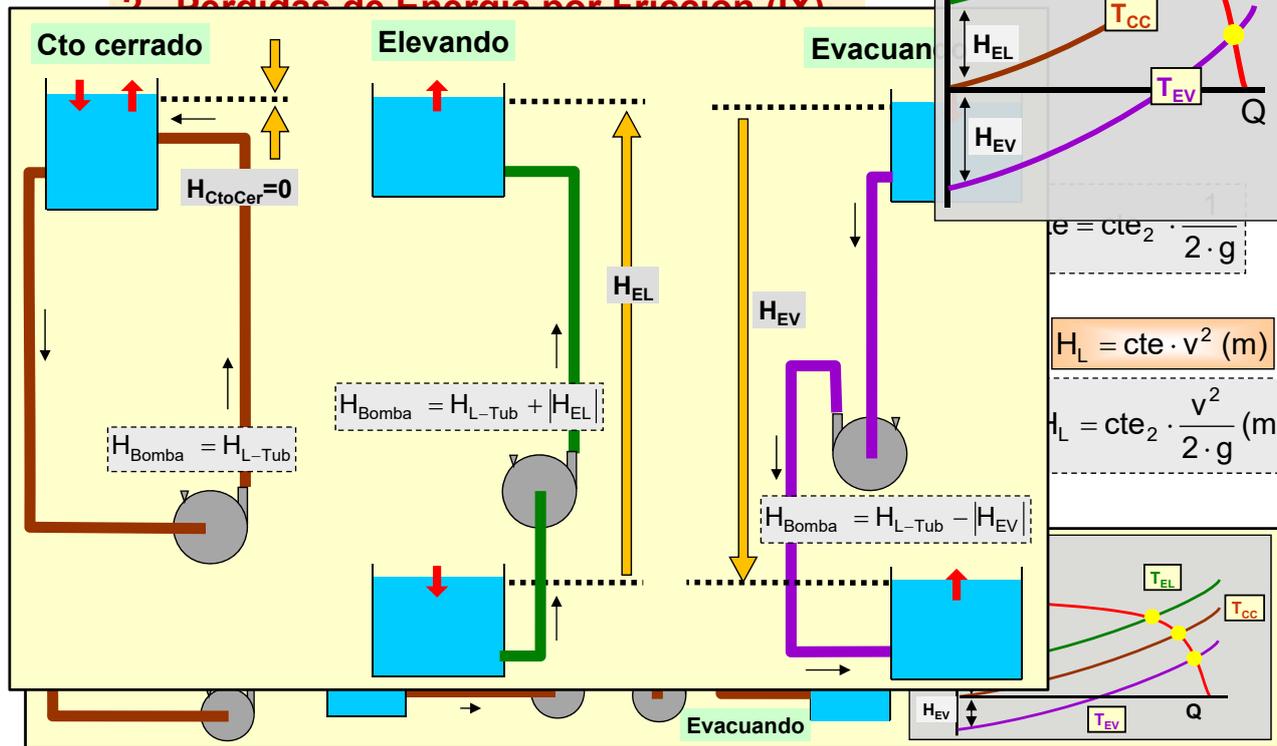


$$cte = cte_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot g}$$

$$H_L = cte \cdot v^2 \text{ (m)}$$

$$H_L = cte_2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

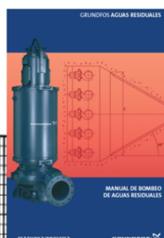
**2. Pérdidas de Energía por Fricción (IX)**



**Nomograma para pérdidas en tuberías, agua limpia a 20°C**

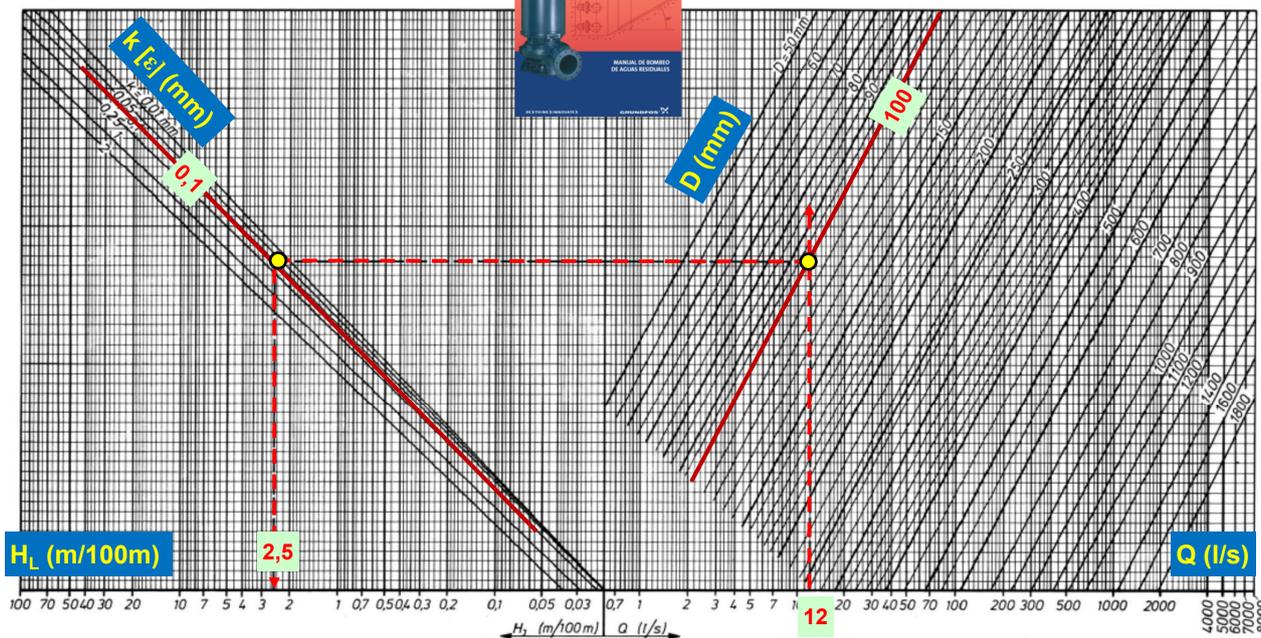
Q = Caudal, l/s  
D = Diámetro interior de la tubería, mm  
k = Rugosidad superficial, mm  
H<sub>L</sub> = Pérdidas en la tubería, m/100 m

Ejemplo  
Q = 12 l/s  
D = 100 mm  
k = 0,01 mm  
H<sub>L</sub> = 2,5 m / 100 m

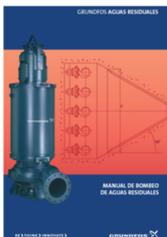


**Valores orientativos de rugosidad superficial (k) para tuberías**

Material de la Tubería	Tubería nueva k (mm)	Tubería vieja k (mm)
plástico	0,01	0,25
acero estrado	0,05	1,0
acero soldado	0,1	1,0
acero inoxidable estrado	0,05	0,25
acero inoxidable soldado	0,1	0,25
fundición	0,25	1,0
acero galvanizado	0,15	
fundición bituminada	0,12	
hormigón	0,3 - 2,0	
amianto-cemento	0,025	



# Nomograma para pérdidas de carga en codos, válvulas etc.



## Valores orientativos para pérdidas de carga en codos, válvulas, etc.

- Codo de tubería de 90°, R/D = 15  $\zeta$  0,3
- Pérdida en la descarga 1,0 (tubería sin dilatación)
- Válvula de retención de clapeta 1,2
- Válvula de retención de bola 0,7..1,2
- Válvula de compuerta 0,2

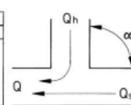


Q = Caudal, l/s  
 D = Diámetro interior de la tubería, mm  
 v = Velocidad del caudal, m/s  
 $\zeta$  = Coeficiente de pérdida  
 $H_L$  = Pérdidas de carga, m

Ejemplo  
 Q = 12 l/s  
 D = 100 mm  
 v = 1,55 m/s  
 $\Sigma \zeta$  = 5  
 $H_L$  = 0,6m

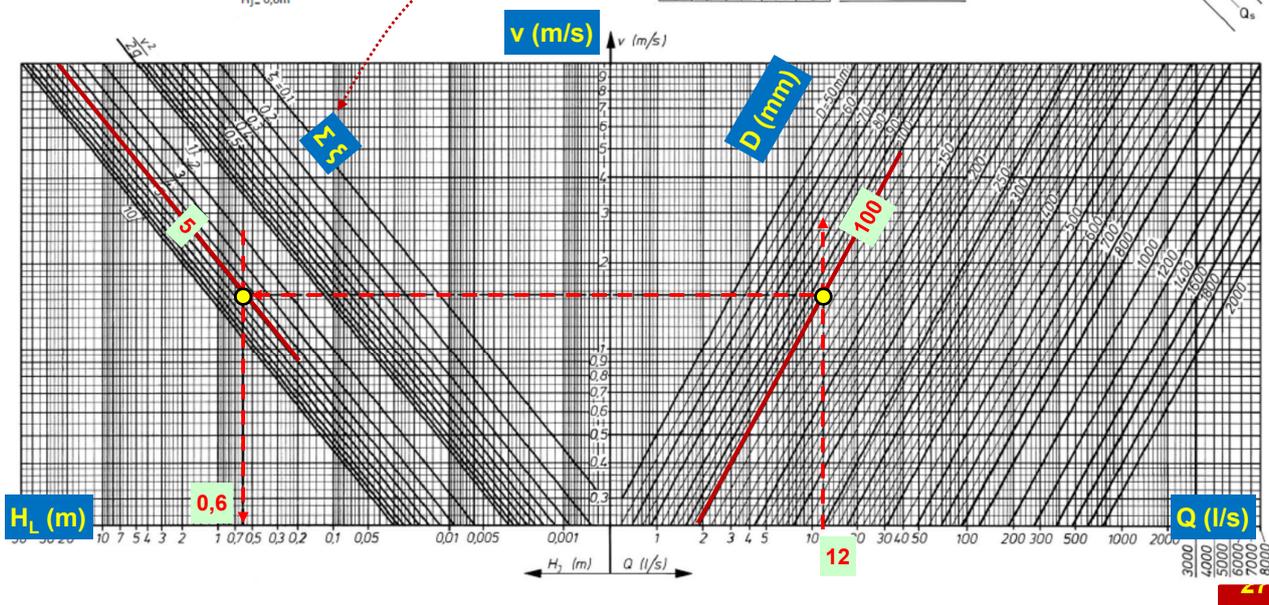
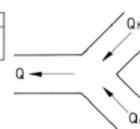
### Unión en T

$Q_h/Q$	$\zeta_h$	$\zeta_s$	$\zeta_a$
0,0	-1,00	0,04	-0,90
0,2	-0,40	0,17	-0,38
0,4	0,08	0,30	0,00
0,6	0,47	0,41	0,22
0,8	0,72	0,51	0,37
1,0	0,81	0,60	0,37



### Unión en Y

$Q_h/Q$	$\zeta_h$	$\zeta_s$
0,0	-	0,8
0,5	0,3	0,3
1,0	0,6	-



## T4.- FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS



Un caudal de 44 l/s de aceite de viscosidad absoluta 0,101 N s/m<sup>2</sup> y densidad relativa 0,850 está circulando por una tubería de fundición de 30 cm de diámetro, rugosidad de 0,05 mm y 3.000 m de longitud. ¿Cuál es la pérdida de carga?

Un caudal de **440 l/s** de aceite de viscosidad absoluta  $0,101 \text{ N s/m}^2$  y densidad relativa  $0,850$  está circulando por una tubería de fundición de  $30 \text{ cm}$  de diámetro, rugosidad de  $0,05 \text{ mm}$  y  $3.000 \text{ m}$  de longitud. ¿Cuál es la pérdida de carga?

29

Tutoría

### 3.- Perfiles de Velocidad (I)

**Laminar:** parabólico

$$U = 2 \cdot v \cdot \left( 1 - \left[ \frac{r}{r_0} \right]^2 \right)$$

$U$  es la velocidad local  
 $r$  el radio local  
 $r_0$  el radio máximo  
 $v$  la velocidad promedio

**Turbulento:** más homogéneo  $\Rightarrow$  mayor  $V$  en pared

$$U = v \cdot \left[ 1 + 1,43 \cdot \sqrt{f} + 2,15 \cdot \sqrt{f} \cdot \log \left( 1 - \frac{r}{r_0} \right) \right]$$

Agua: *Hazen-Williams* :

$$v = 0,85 \cdot C_h \cdot D_H^{0,63} \cdot \left( \frac{h_L}{L} \right)^{0,54}$$

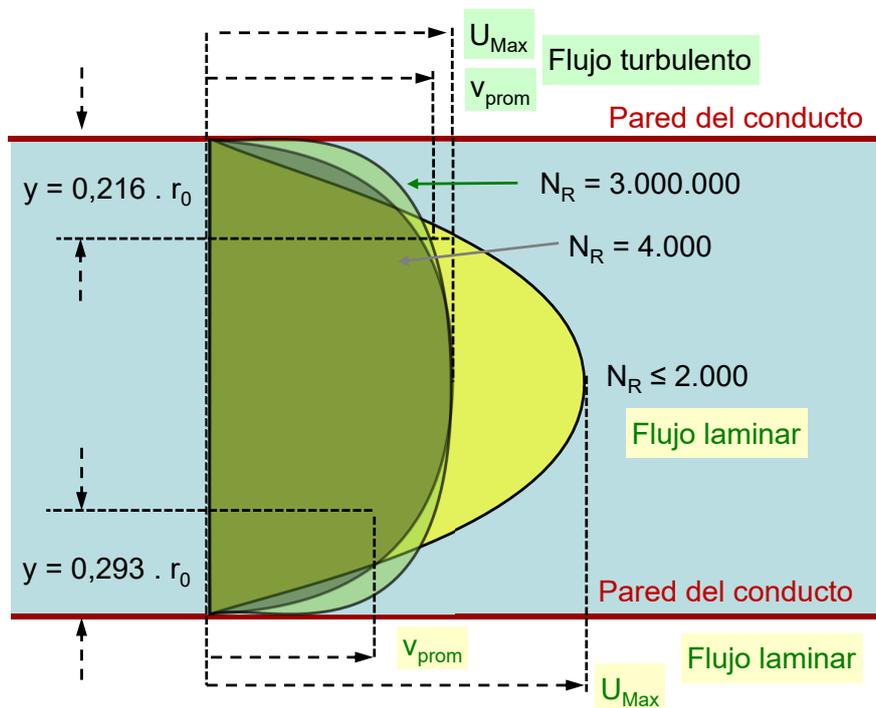
$$h_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

$D_H$  = Diámetro hidráulico

$C_h$	Acero, hierro dúctil o fundido	Plástico, cobre o vidrio	Acero o hierro fundido	Acero corrugado
Tubo nuevo	150	140	130	60
Valor de diseño	140	130	100	60

30

3.- Perfiles de Velocidad (II)



3.- Perfiles de Velocidad (III)

Velocidades medias más usuales			
Agua	B. Embolos	Succión	0,5 a 1 m/s
		Expulsión	1 a 2 m/s
	B. Centrífugas	Succión	0,5 a 2,5 m/s
		Expulsión	1,5 a 4,5 m/s
Vapor	Turbinas	Alimentación	30 a 80 m/s
Aire	Comp. alternativo	Succión	16 a 20 m/s
		Expulsión	25 a 30 m/s
	Turbocompresor	Suc. y exp.	20 a 25 m/s
	Motores combust.	Alimentación	10 a 20 m/s
	Conductos aire acondicionado		
Gases	Motor combust.	Escape	10 a 40 m/s
Aceite lubricación		Tuberías	0,5 a 1,5 m/s

3.- Perfiles de Velocidad (IV)

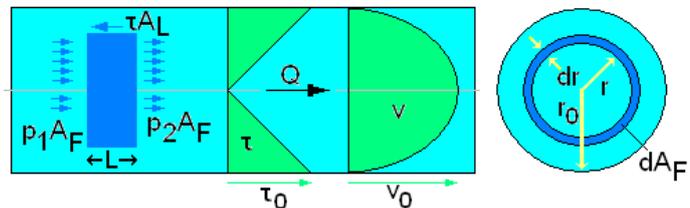
Velocidad máxima recomendada (m/s)		
Presión (Bar)	Vapor de agua	
	Saturado	Recalentado
< 2	30	35
2 a 5	35	45
5 a 10	40	50
10 a 25	50	60
25 a 100	60	75



4.- Tensiones y Fuerzas en la Tubería (I)

La tensión cortante,  $\tau$ , en una sección recta de tuberías es:

$$p_1 \cdot A_{\text{Frontal}} - p_2 \cdot A_{\text{Frontal}} - \tau \cdot A_{\text{Lateral}} = 0$$



$$(p_1 - p_2) \cdot (\pi \cdot r^2) - \tau \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) = 0 \Rightarrow \tau = \frac{p_1 - p_2}{2 \cdot L} \cdot r \cdot \frac{\gamma}{\gamma} \left[ H_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right] \Rightarrow \tau = \frac{\gamma}{2 \cdot L} \cdot r \cdot H_L$$

\* Si  $r = r_0 \Rightarrow \tau_{\text{en la pared}} = \tau_0$

$$\tau = \frac{\gamma}{2L} r_0 \cdot H_L \left| H_L = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \right| \Rightarrow \tau = \frac{\gamma}{2 \cdot L} \cdot r_0 \cdot \left[ \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \right] = \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{r_0}{2 \cdot r_0} \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot g} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \lambda \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{v^2}{8}$$

$$\tau_0 = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{8}$$



4.- Tensiones y Fuerzas en la Tubería (II)

**Fuerza de una corriente:**  $\bar{F} = m \cdot d\bar{a} = m \cdot \frac{d\bar{v}}{dt} \Rightarrow$  [Impulso]  $\bar{F} \cdot dt = m \cdot d\bar{v}$

$$\bar{F} = m [\text{kg}] \cdot \bar{a} [\text{m/s}^2] = m [\text{kg}] \cdot \frac{\bar{v} [\text{m/s}]}{t [\text{s}]} = \frac{m [\text{kg}]}{t [\text{s}]} \cdot \bar{v} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \left( \rho \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot Q \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \right) \cdot \bar{v} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \rho \cdot Q \cdot \bar{v}$$

**Fuerza de un chorro de líquido sobre un objeto en reposo: (I)**

- Si tiene un giro de 90°

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \bar{F}_X = 0 \quad \rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2X} - \bar{v}_{1X}) + \bar{R}_X = 0 \\ \quad \quad \quad \bar{R}_X = -\rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2X} - \bar{v}_{1X}) = \rho \cdot Q \cdot \bar{v}_{1X} = -\rho \cdot Q \cdot \bar{v}_1 \\ \sum \bar{F}_Y = 0 \quad \rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2Y} - \bar{v}_{1Y}) + \bar{R}_Y = 0 \\ \quad \quad \quad \bar{R}_Y = -\rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2Y} - \bar{v}_{1Y}) = -\rho \cdot Q \cdot \bar{v}_{2Y} = -\rho \cdot Q \cdot \bar{v}_2 \end{array} \right.$$

$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}$



4.- Tensiones y Fuerzas en la Tubería (III)

**Fuerza de un chorro de líquido sobre un objeto en reposo: (II)**

- Si tiene un giro de α°

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \bar{F}_X = 0 \quad \rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2X} - \bar{v}_{1X}) + \bar{R}_X = 0 \\ \quad \quad \quad \bar{R}_X = -\rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2X} - \bar{v}_{1X}) = \rho \cdot Q \cdot \bar{v}_{1X} = -\rho \cdot Q \cdot \bar{v}_1 \cdot \text{sen} \alpha \\ \sum \bar{F}_Y = 0 \quad \rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2Y} - \bar{v}_{1Y}) + \bar{R}_Y = 0 \\ \quad \quad \quad \bar{R}_Y = -\rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_{2Y} - \bar{v}_{1Y}) = -\rho \cdot Q \cdot (\bar{v}_2 - \bar{v}_1 \cdot \text{cos} \alpha) \end{array} \right.$$

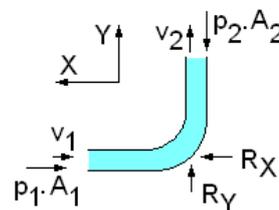
$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}$

4.- Tensiones y Fuerzas en la Tubería (III)

Fuerza a soportar por un codo: (I)

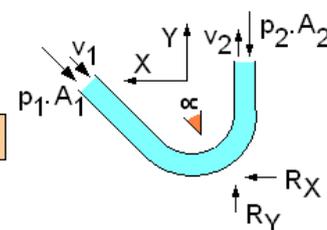
- Si tiene un giro de 90°

$$\begin{cases} \sum \bar{F}_x = 0 & R_x = p_1 \cdot A_1 + \rho \cdot Q \cdot v_{1x} = p_1 \cdot A_1 + \rho \cdot Q \cdot v_1 \\ \sum \bar{F}_y = 0 & R_y + \rho \cdot Q \cdot (v_{2y} - v_{1y}) = p_2 \cdot A_2 \\ & R_y = p_2 \cdot A_2 - \rho \cdot Q \cdot v_{2y} = p_2 \cdot A_2 - \rho \cdot Q \cdot v_2 \end{cases}$$



- Si tiene un giro de α°

$$\begin{cases} \sum \bar{F}_x = 0 & R_x = p_1 \cdot A_1 \cdot \cos \alpha + \rho \cdot Q \cdot v_{1x} = (p_1 \cdot A_1 + \rho \cdot Q \cdot v_1) \cdot \cos \alpha \\ \sum \bar{F}_y = 0 & R_y + \rho \cdot Q \cdot (v_{2y} - v_{1y}) = p_1 \cdot A_1 \cdot \sin \alpha + p_2 \cdot A_2 \\ & R_y = p_1 \cdot A_1 \cdot \sin \alpha + p_2 \cdot A_2 - \rho \cdot Q \cdot (v_{2y} - v_{1y}) = \\ & = p_1 \cdot A_1 \cdot \sin \alpha + p_2 \cdot A_2 + \rho \cdot Q \cdot (v_1 \cdot \sin \alpha - v_2) \end{cases}$$

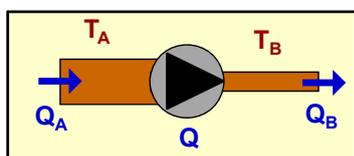


Fuerza a soportar por un cuerpo en movimiento:

Considerar velocidades relativas, ej: álabe de turbina ...

5.- Sistemas de Tuberías en Serie (I)

Tuberías con igual caudal y diferente sección (Ec Bernoulli)



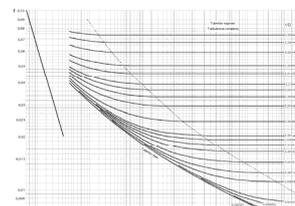
$$\left( z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} \right) + H_{añã} - H_{ext} - H_{per} = \left( z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} \right)$$

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 \\ A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \end{cases} \quad Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu} \quad H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

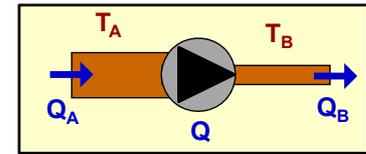
Tres tipos de problemas:

1. **Calcular una bomba:** conocidas las tuberías (D, ε) hay que determinar la energía requerida para el bombeo de un determinado Q

- Se calculan  $L_{equ\_tubA}$  y  $L_{equ\_tubB}$
- Se calcula  $H_L (= H_{LA} + H_{LB})$   
(v, Re, [ε/D], f, ...)AB
- La energía añadir es la geométrica (elevación) más la pérdida en las tuberías



5.- Sistemas de Tuberías en Serie (II)

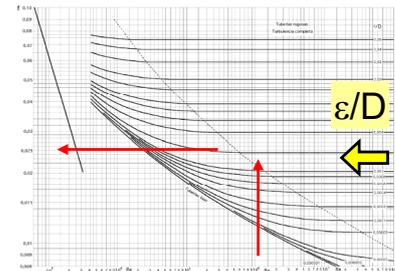


2. **Calcular el caudal:** conocidas las tuberías (D,  $\varepsilon$ ) y la energía disponible ( $H_D$ ) determinar el caudal (iteración)

(2a)

- Se presupone un caudal  $Q_1$  (recomendado  $v$  entre 1 a 3 m/s)
- Se determinan las velocidades  $v_A$  y  $v_B$ ; y Reynolds  $Re_{A1}$  y  $Re_{B1}$
- Se calculan  $f_{A1}$  y  $f_{B2}$  (Moddy)
- Se calcula  $H_{L1}$  ( $=H_{LA1} + H_{LB1}$ )  
(incluidos accesorios,  $L_{eq\_tub}$ )
- Se calcula  $H_{Tub}$  ( $=H_{geom} + H_{L1}$ )

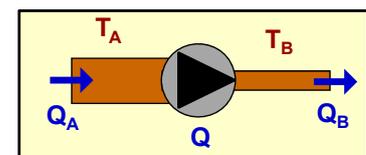
$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$



- Si  $H_D = H_{Tub} \Rightarrow Q = Q_1$  ( $\leftarrow \Rightarrow$ )
- Si  $H_D > H_{Tub} \Rightarrow Q > Q_1$ , ( $v > v_1$ )
- Si  $H_D < H_{Tub} \Rightarrow Q < Q_1$ , ( $v < v_1$ )

- Se presuponen nuevos valores  $Q_2 \dots$

5.- Sistemas de Tuberías en Serie (III)

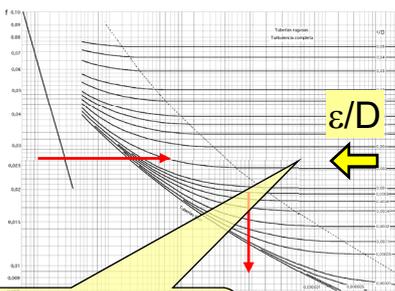


2. **Calcular el caudal:** conocidas las tuberías (D,  $\varepsilon$ ) y la energía disponible ( $H_D$ ) determinar el caudal (iteración)

(2b)

- Se presuponen valores para los coef. fric. ( $f_{A1}$  y  $f_{B1} = 0,02 - 0,025$ )
- Se determinan  $Re_{A1}$  y  $Re_{B1}$  (Moody), y con ellos  $v_{A1}$  y  $v_{B1}$
- Se calcula  $H_{L1}$  ( $=H_{LA1} + H_{LB1}$ )  
(incluidos accesorios,  $L_{eq\_tub}$ )
- Se calcula  $H_{Tub}$  ( $=H_{geom} + H_{L1}$ )

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

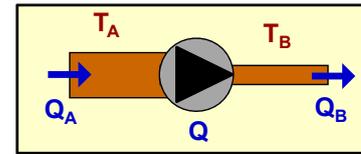


- Si  $H_D = H_{Tub}$  se determina Q con  $v_1$  ( $\leftarrow \Rightarrow$ )
- Si  $H_D > H_{Tub} \Rightarrow v > v_1 \Rightarrow Re > Re_1 \Rightarrow f < f_1$
- Si  $H_D < H_{Tub} \Rightarrow v < v_1 \Rightarrow Re < Re_1 \Rightarrow f > f_1$

- Se suponen nuevos valores  $f_{A2}$  y  $f_{B2}$  o ( $v_2$  caso =) ...

Este método no sirve si en el ábaco de Moody se cae en la parte horizontal de las curvas

5.- Sistemas de Tuberías en Serie (IV)



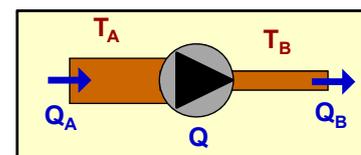
2. **Calcular el caudal:** conocidas las tuberías ( $D$ ,  $\varepsilon$ ) y la energía disponible ( $H_D$ ) determinar el caudal (iteración)

(2c)

- Se presuponen valores para los coef. fric. ( $f_{A1}$  y  $f_{B1} = 0,02 - 0,025$ ), o se supone flujo desarrollado
- Se establece por las áreas de las tuberías la relación entre  $v_{A1}$  y  $v_{B1}$
- Se formula  $H_L (= H_{LA1} + H_{LB1})$  en función de  $v_{A1}$  o  $v_{B1}$  (incluido lo correspondiente a los accesorios,  $L_{eq\_tub}$ )
- Se formula  $H_{Bomba} = H_L + H_{Geométrica}$
- Utilizando la Potencia de la Bomba se calculan  $v_{A1}$  y  $v_{B1}$
- Se calcula  $Q$
- Se comprueban los valores de  $f_{A2}$  y  $f_{B2}$

$$Pot_{Hidraulica} = \gamma \cdot H_{Bomba} \cdot Q$$

5.- Sistemas de Tuberías en Serie (V)



3. **Calcular la tubería:** determinar el diámetro necesario en las tuberías para un  $Q$  y una pérdida de presión admisible máxima,  $H_D$ , (iteración)

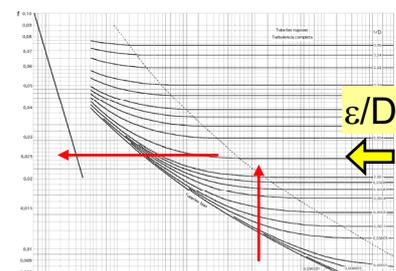
- Se presuponen valores de  $v_{A1}$  y  $v_{B1}$  (con  $v_1 = 1$  a  $3$  m/s)
- Se calculan los diámetros  $D_{A1}$  y  $D_{B1}$
- Se determinan  $Re_{A1}$ ,  $Re_{B1}$  y con Moody  $f_{A1}$  y  $f_{B1}$
- Se calcula  $H_{L1} (= H_{LA1} + H_{LB1})$  (incluidos accesorios,  $L_{eq\_tub}$ )
- Se calcula  $H_{Tub} (= H_{geom} + H_{L1})$

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

- Si  $H_D = H_{Tub} \Rightarrow D = D_1$  ( $\Leftarrow$ )
- Si  $H_D > H_{Tub} \Rightarrow D < D_1 \Rightarrow v > v_1$
- Si  $H_D < H_{Tub} \Rightarrow D > D_1 \Rightarrow v < v_1$

- Se suponen nuevos valores de  $v_2 \dots$

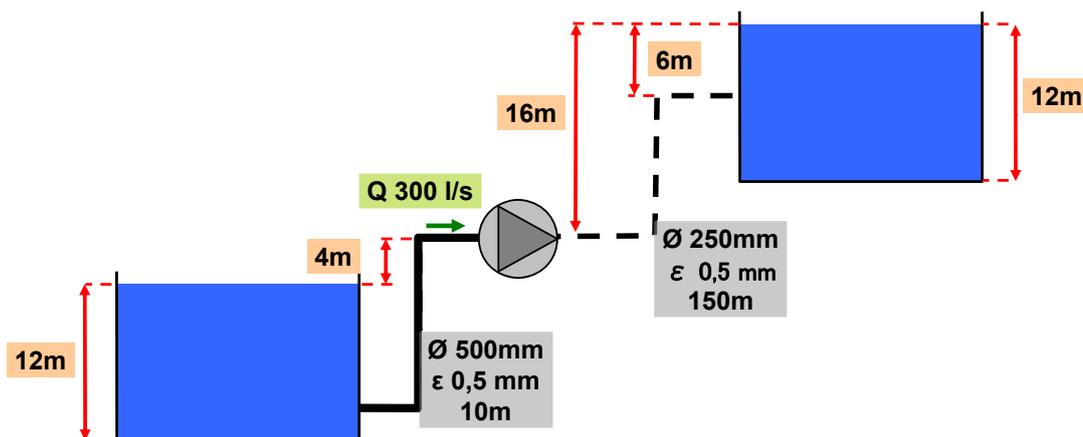
En función de  $H_{L1}$  y  $H_{L2}$  se puede aumentar una velocidad y disminuir la otra



Una bomba centrífuga aspira 300 l/s de agua desde un depósito abierto por una tubería de 10 m de longitud y 500 mm de diámetro. El eje de la bomba se encuentra 4 m por encima del nivel del agua en el depósito. La bomba impulsa por una tubería de 150 m de longitud y 250 mm de diámetro a otro depósito cuyo nivel superior está 16 m por encima del nivel de la bomba. La tubería entra a este segundo depósito 6 m por debajo de su nivel. La rugosidad de ambas tuberías es 0,5 mm.

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

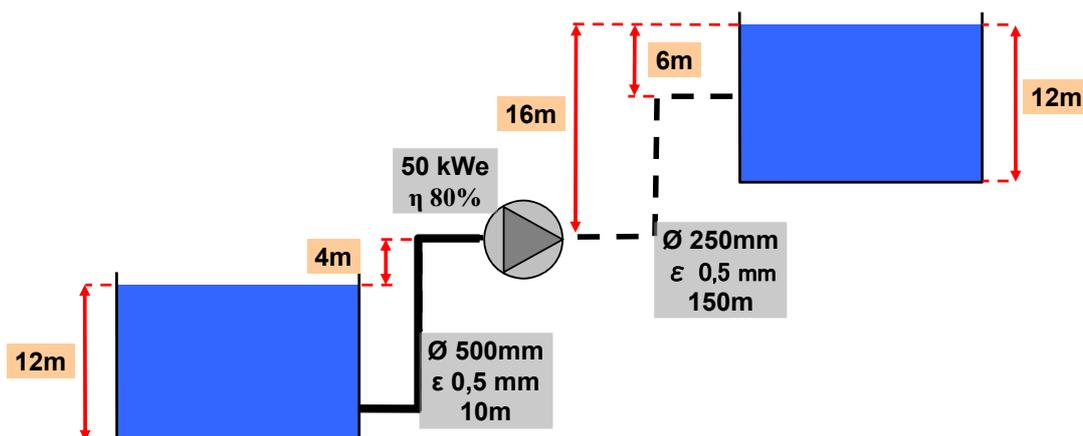
Calcular la potencia de bombeo requerida



43

Calcular el caudal que envía una bomba centrífuga de 50 kW<sub>e</sub> y rendimiento 80% si bombea agua de un depósito abierto por una tubería de 10 m de longitud y 500 mm de diámetro. El eje de la bomba se encuentra 4 m por encima del nivel del agua en el depósito. La bomba impulsa por una tubería de 150 m de longitud y 250 mm de diámetro a otro depósito cuyo nivel superior está 16 m por encima del nivel de la bomba. La tubería entra a este segundo depósito 6 m por debajo de su nivel. La rugosidad de ambas tuberías es 0,5 mm.

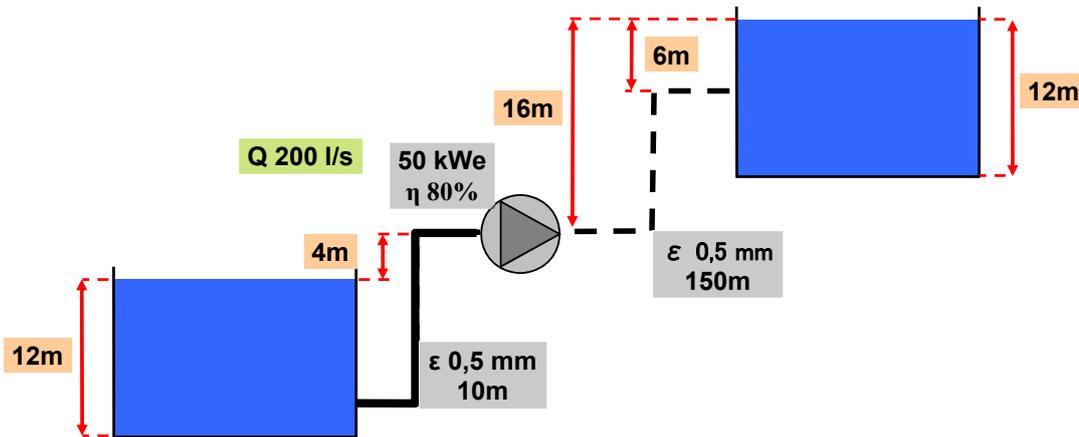
$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$



44

Calcular el diámetro de las tuberías de aspiración e impulsión (considerar que la sección de aspiración debe ser un 25% mayor que la de impulsión) si con una bomba de 50 kW e rendimiento 80% se deben enviar 200 litros por segundo de agua por las tuberías de una instalación cuyo esquema es el de la figura. La rugosidad de ambas tuberías es 0,5 mm.

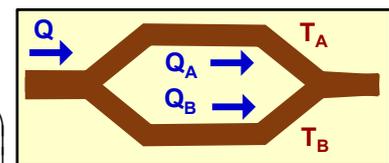
$$v = 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$



45

### 6.- Sistemas de Tuberías en Paralelo (I)

$$\left( z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} \right) + H_{\text{añã}} - H_{\text{ext}} - H_{\text{per}} = \left( z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} \right)$$



#### PRINCIPIOS:

– En un nudo la suma de caudales es nula  $Q_1 = Q_A + Q_B + Q_C + \dots = Q_2$

– La pérdida de carga entre dos nudos es idéntica por todas las tuberías (codos, Tes, ...)  $H_{LA} = H_{LB} = H_{LC} = \dots$   
[tubería equivalente]

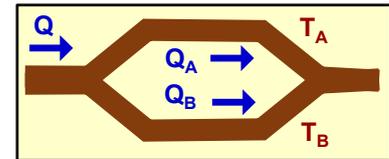
$$H_{LA} = H_{LB} = \dots = f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = f_B \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} = \dots \text{ (m)}$$

– El porcentaje de caudal por cada rama es independiente del caudal total

$$\frac{Q_A}{Q_1} \Big|_{\forall H_{LA}} = \text{cte} ; \frac{Q_B}{Q_1} \Big|_{\forall H_{LB}} = \text{cte} ; \dots$$

46

6.- Sistemas de Tuberías en Paralelo (II)



**Sistemas con 2 ramas**, existen dos tipos de problemas:

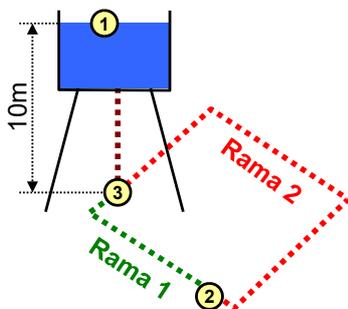
**1.- Calcular la caída de presión y los caudales por rama** conocidos el caudal total y las tuberías ( $D, \varepsilon$ )

- Se presupone un caudal en cada rama,  $Q_A$  y  $Q_B$
- ...
- Comprobar que la  $H_{LA} = H_{LB}$ , e iterar modificando los caudales

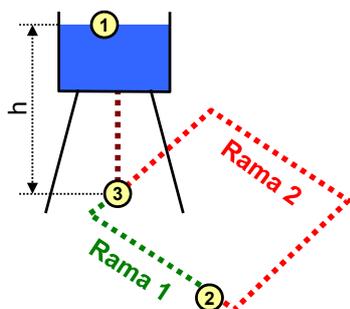
**2.- Calcular los caudales** conocidos la caída de presión y las tuberías ( $D, \varepsilon$ )

- Como tuberías individuales

Una red de distribución de agua se alimenta desde un depósito elevado 10 m. La distribución de la tubería es anillo de 20 cm de diámetro y rugosidad de 0,2 mm. Si se abre una boca que necesita para funcionar 1 mca en punto cuya longitud equivalente por el ramal 1 es de 100 m, y por el ramal 2 de 300 m; calcular el caudal por cada rama. ( $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ), despreciando la pérdida de carga en la bajante



Una red de distribución de agua se alimenta desde un depósito elevado por una tubería en anillo de rugosidad 0,5 mm. Si se abre una boca que necesita una presión de 1 mca en punto cuya longitud equivalente por el ramal 1 es de 100 m ( $\varnothing_1 = 20$  cm), y por el ramal 2 de 350 m ( $\varnothing_2 = 30$  cm); calcular la altura del depósito necesaria para que el caudal sea de 0,5 m<sup>3</sup>/s. ( $\nu = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s), despreciando la pérdida de carga en la bajante

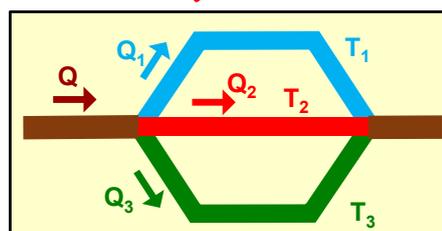


49

Tutoría

Determinar la distribución del flujo.  $\nu = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s  
si el  $Q_{\text{Total}} = 0,02$  m<sup>3</sup>/s

Tubería	L (m)	D (m)	e (mm)
1	100	0,05	0,1
2	150	0,075	0,2
3	200	0,085	0,1

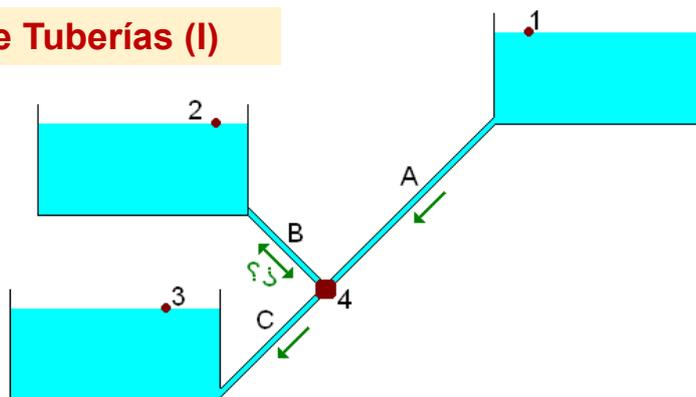


50

7.- Sistemas de Ramales de Tuberías (I)

Sistemas con 3 ramas (I)

¿Q<sub>A</sub>? ¿Q<sub>B</sub>? ¿entra o sale de 2? ¿Q<sub>C</sub>?



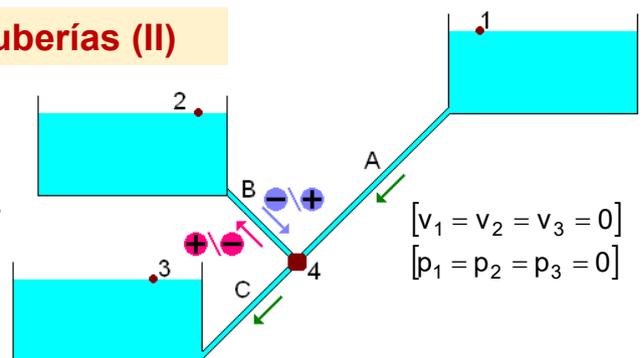
$$\begin{cases} \left[ z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right] - H_{L1-2} = \left[ z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right] \\ \left[ z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right] - H_{L1-3} = \left[ z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \right] \\ \left[ z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right] - H_{L2-3} = \left[ z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \right] \end{cases}$$

$$\begin{cases} [v_1 = v_2 = v_3 = 0] \\ [p_1 = p_2 = p_3 = 0] \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} [z_1] - H_{L1-2} = [z_2] \\ [z_1] - H_{L1-3} = [z_3] \\ [z_2] - H_{L2-3} = [z_3] \end{cases}$$

7.- Sistemas de Ramales de Tuberías (II)

Sistemas con 3 ramas (II)

- Suponer caudales (Q ⇒ v) y direcciones (balance de continuidad de las masas)
- v ⇒ Re ⇒ λ ⇒ H<sub>L</sub>
- Iterar ...



$$\begin{cases} [z_1] - H_{L1-2} = [z_2] \\ [z_1] - H_{L1-3} = [z_3] \\ [z_2] - H_{L2-3} = [z_3] \end{cases}$$

$$\begin{cases} H_{L1-2} = H_{L1-4} + H_{L4-2} = H_{LA} + H_{LB} \\ H_{L1-3} = H_{L1-4} + H_{L4-3} = H_{LA} + H_{LC} \\ H_{L2-3} = H_{L2-4} + H_{L4-3} = H_{LB} + H_{LC} \end{cases}$$

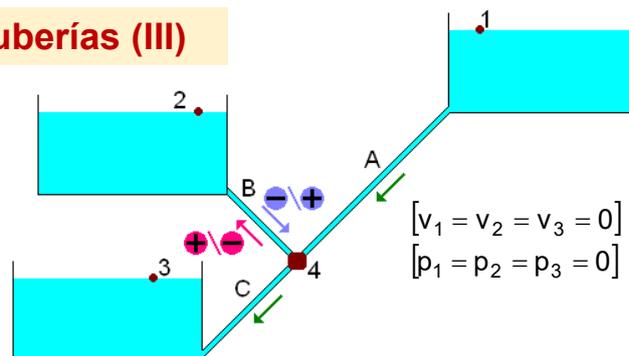
$$\begin{cases} H_{LA} = f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \\ H_{LB} = f_B \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \\ H_{LC} = f_C \cdot \frac{L_C}{D_C} \cdot \frac{v_C^2}{2 \cdot g} \end{cases}$$



7.- Sistemas de Ramales de Tuberías (III)

Sistemas con 3 ramas (III)

- Una suposición inicial recomendable para simplificar cálculos es:  $Q_B = 0$
- Calcular  $v_A (= v_C)$  y  $Q_A (= Q_C)$



$$\{ [z_1] - H_{L1-3} = [z_3] \Rightarrow H_{L1-3} = [z_1] - [z_3]$$

$$\{ H_{L1-3} = H_{LA} + H_{LC}$$

$$\begin{cases} H_{LA} = f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \\ H_{LC} = f_C \cdot \frac{L_C}{D_C} \cdot \frac{v_C^2}{2 \cdot g} \end{cases} \quad (\text{suponer } f_A \text{ y } f_C = 0,025)$$

$$[z_1 - z_3] = \left( f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} + f_C \cdot \frac{L_C}{D_C} \right) \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \Rightarrow v_A \quad (\text{comprobar } f_A \text{ y } f_C, \text{ iterar si necesario})$$



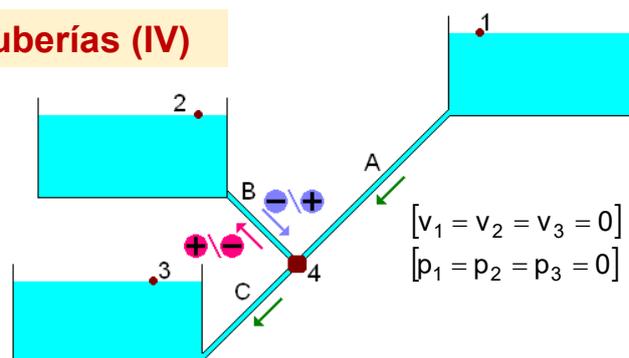
7.- Sistemas de Ramales de Tuberías (IV)

Sistemas con 3 ramas (IV)

- Calcular:  $Q_B$

$$\{ [z_1] - H_{L1-2} = [z_2] \Rightarrow H_{L1-2} = [z_1] - [z_2]$$

$$\{ H_{L1-2} = H_{LA} + H_{LB}$$



$$\left\{ H_{LA} = f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \quad H_{LB} = f_B \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \right\} \quad (\text{suponer } f_A \text{ y } f_B = 0,025)$$

$$[z_1 - z_2] = \left( f_A \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \right) \pm f_B \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \Rightarrow v_B \quad (\text{con dirección}) \quad (\text{comprobar } f_A \text{ y } f_B, \text{ iterar si necesario})$$

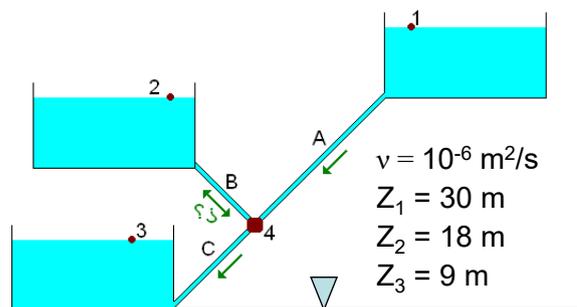
- Calcular:  $Q_{C2}$

$$\{ Q_A + Q_B + Q_C = 0$$

	$Q_B$ entra		$Q_B$ sale	
	$Q_{A2}$	$Q_{B2}$	$Q_{A2}$	$Q_{B2}$
$Q_{C2} > Q_{C1}$	$> Q_{A1}$	$< Q_{B1}$		
$Q_{C2} < Q_{C1}$	$< Q_{A1}$	$> Q_{B2}$		

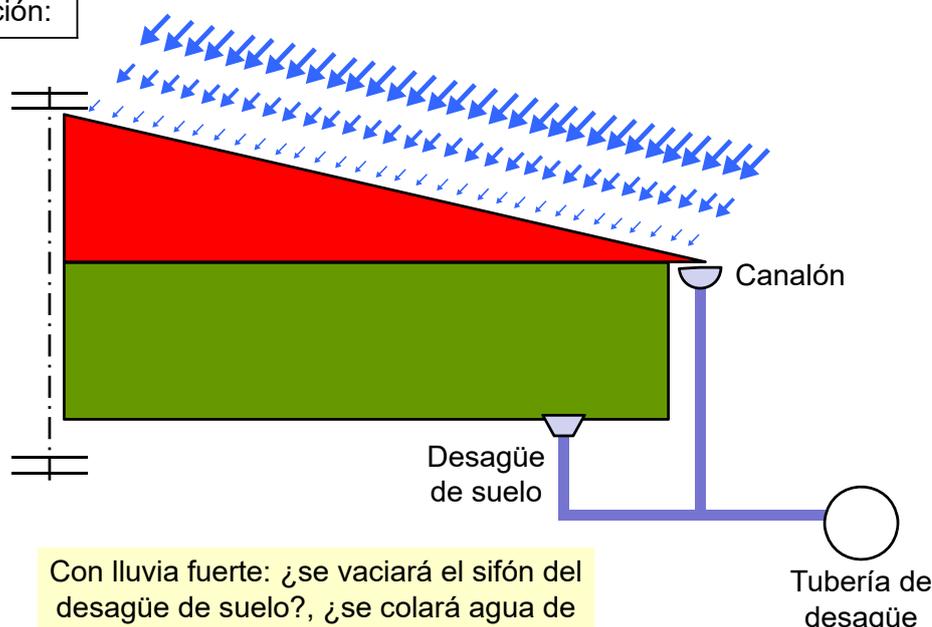
Determinar los caudales si la altura del agua en los depósitos se mantiene cte

Tubería	L (m)	D (m)	$\epsilon/D$
1 (A)	3.000	1	0,0002
2 (B)	600	0,5	0,002
3 (C)	1.200	0,75	0,001



**7.- Sistemas de Ramales de Tuberías (V)**

Ejemplo de aplicación:



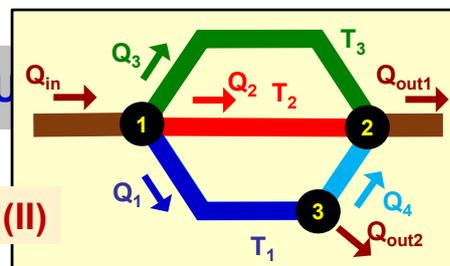
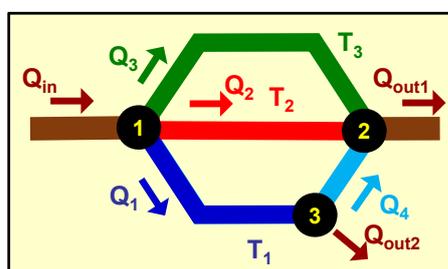
Con lluvia fuerte: ¿se vaciará el sifón del desagüe de suelo?, ¿se colará agua de lluvia en la nave por el desagüe?, ...

**8.- Sistemas Ramificados: (Hardy Cross) (I)**

Sistema de una tubería que se separa y no vuelve a juntar, o de dos tuberías distintas que se unen

El problema suele radicar en calcular los caudales y su dirección, en cada tubería

La solución depende de las presiones de entrada (salida), de las alturas geométricas, de los diámetros



**8.- Sistemas Ramificados: (Hardy Cross) (II)**

– Las pérdidas de presión se deben expresar en función de Q

$$\left| Q = v/A \Rightarrow v^2 = (Q/A)^2 \right| \quad H_L = R \cdot Q^2$$

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2/4} \text{ (m/s)}$$

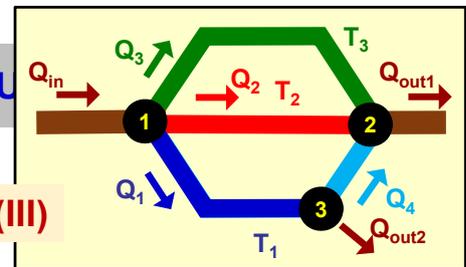
$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{16 \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \pi^2} = \left[ \frac{f \cdot 8 \cdot L}{D^5 \cdot g \cdot \pi^2} \right] \cdot Q^2 = R \cdot Q^2$$

$$R = \left[ \frac{f \cdot 8 \cdot L}{D^5 \cdot g \cdot \pi^2} \right]$$

Para redes de distribución de agua se suele simplificar con la ecuación:

$$R = \frac{10,6}{C^{1,85}} \cdot \frac{L}{D^{4,87}}$$

Material de la tubería	C
Extremadamente lisa	140
Muy lisa, hierro colado	130
Nueva de acero recién soldado	120
Nueva de acero roblonado	110
Tubería vieja	95-100
Vieja en mal estado	60-80



8.- Sistemas ramificados: (Hardy Cross) (III)

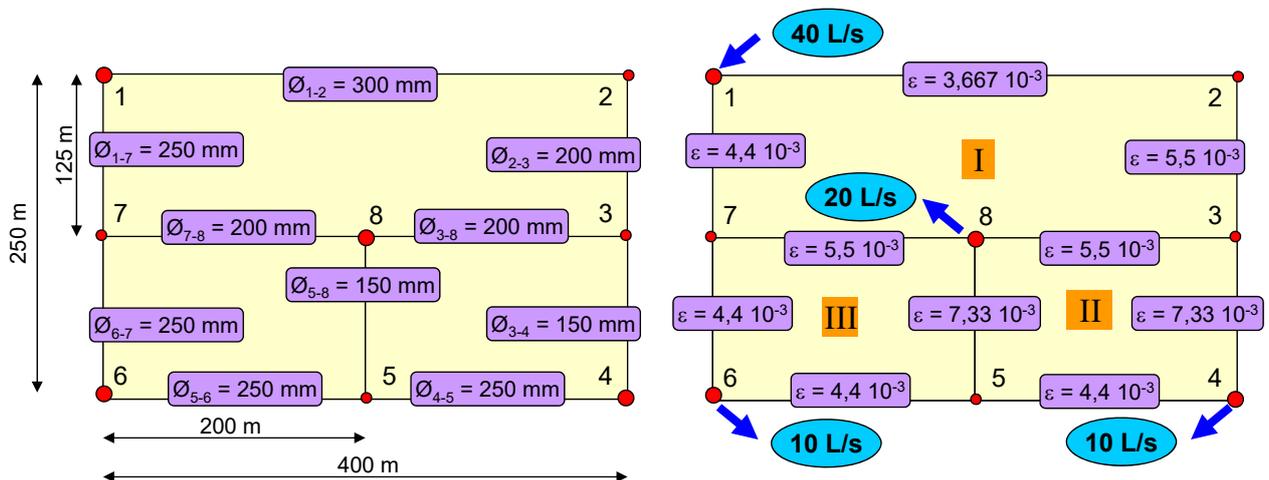
- Se deben suponer los caudales en cada rama,  $Q'$
- La red se divide en circuitos de lazo cerrado
- En cada tubería se calcula la pérdida de carga

$$H_L = R \cdot Q^2$$

- Se suman los valores de  $H_L$  de todas las ramas del lazo  $\sum H_L$   
[si el flujo es horario  $H_L$  es positiva, si el flujo es antihorario  $H_L$  es negativa]
- En cada tubería se calcula el producto:  $2 \cdot R \cdot Q$
- Se suman, asumiéndolos como positivos:  $\sum 2 \cdot R \cdot Q$
- En cada lazo se calcula  $\Delta Q$  como:  $\Delta Q = \sum H_L / \sum 2 \cdot R \cdot Q$
- Se calcula el nuevo caudal de la tubería,  $Q'$  como:  $Q' = Q - \Delta Q$
- Repetir el proceso con  $Q'$  hasta que el valor de  $\Delta Q$  sea pequeño

8.- Sistemas Ramificados: (Hardy Cross) (IV)

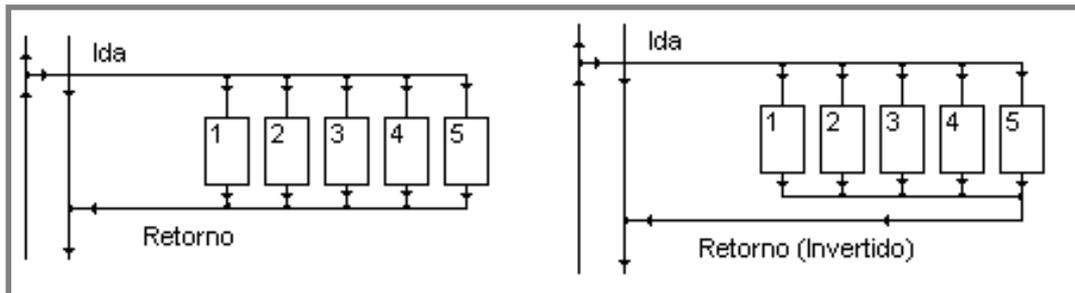
Según los esquemas y datos de las figuras (longitudes, diámetros, caudales y rugosidades relativas), determinar la distribución de caudales



### 9.- Equilibrado Hidráulico (I)

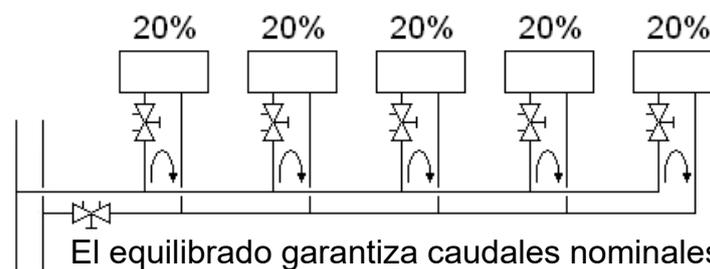
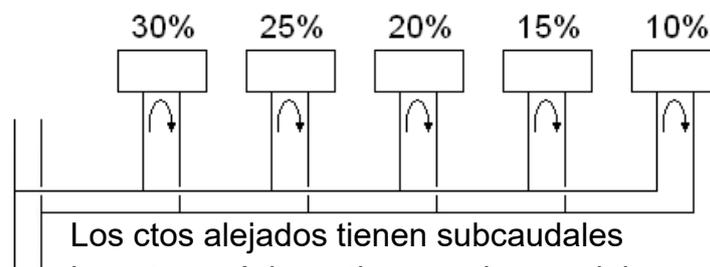
En los circuitos hidráulicos hay que garantizar el caudal nominal en todos los puntos

Con circuitos en paralelo, para que el **caudal** se **reparta** según las **condiciones de diseño**, estos han de estar equilibrados ( $= H_L$ )



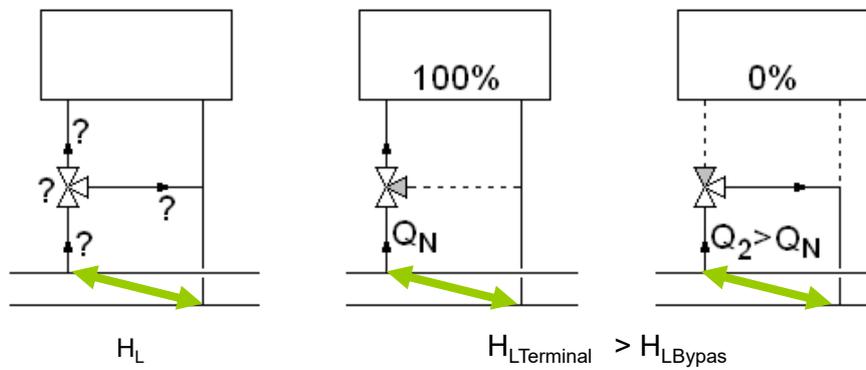
El “**retorno invertido**” no siempre es una solución válida (ctos muy diferentes, o no coinciden las demandas nominales)

### 9.- Equilibrado Hidráulico (II)



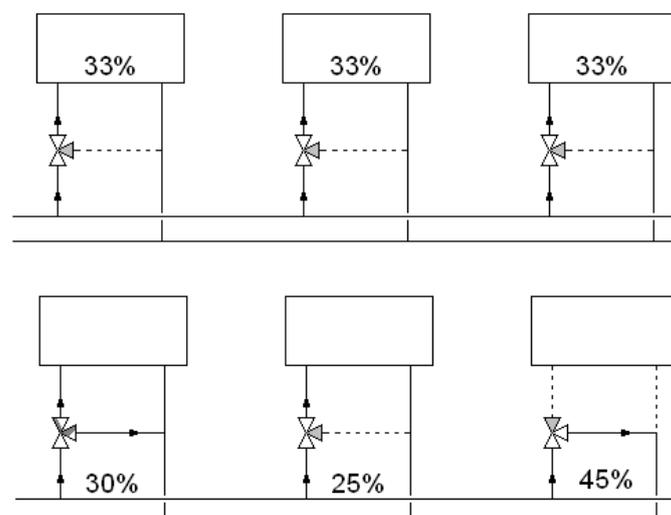
9.- Equilibrado Hidráulico (III)

Regulación de caudales en unidades terminales con **válvulas de 3 vías**



Cuando el terminal no necesita caudal su circuito demanda más caudal que en condiciones nominales

9.- Equilibrado Hidráulico (IV)



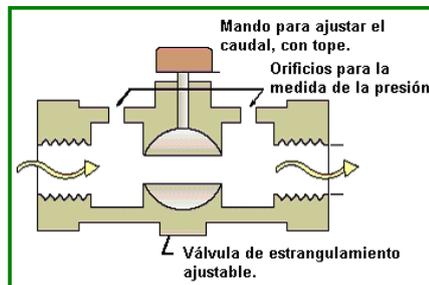
Aperturas distintas producen sobrecaudales en los ctos no necesitados, y subcaudales en los más necesitados:  $\Rightarrow$  **Necesidad equilibrado hidráulico**

9.- Equilibrado Hidráulico (V)

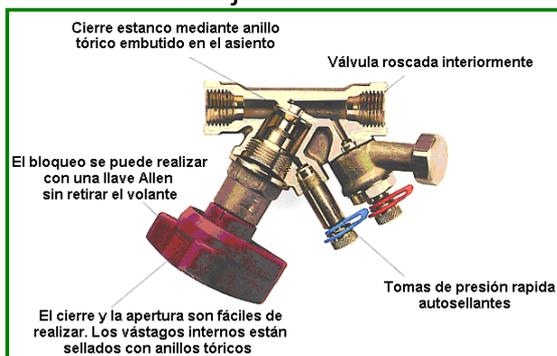
Válvulas de Equilibrado Estático:

- Válvula ajustadora de circuito

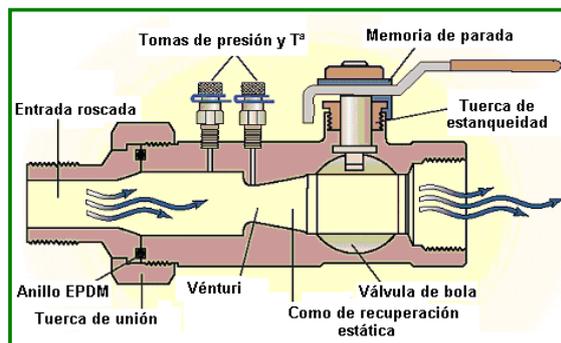
El caudal se mide relacionando la presión en la válvula y la posición del mando



- Válvulas de ajuste exterior:



Miden la presión en un orificio

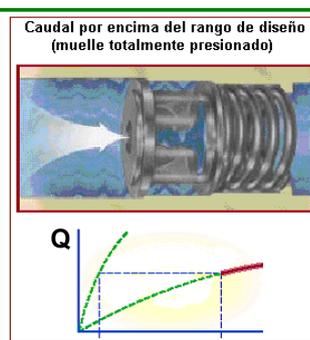
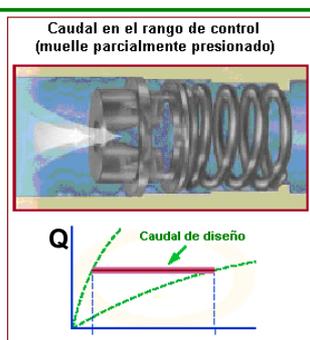
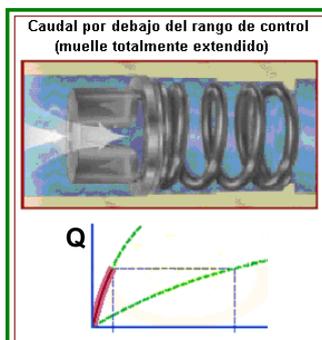
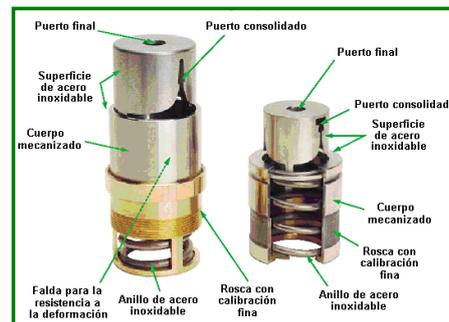


El caudal se mide en un venturi

9.- Equilibrado Hidráulico (VI)

Válvulas de Equilibrado Dinámico (I)

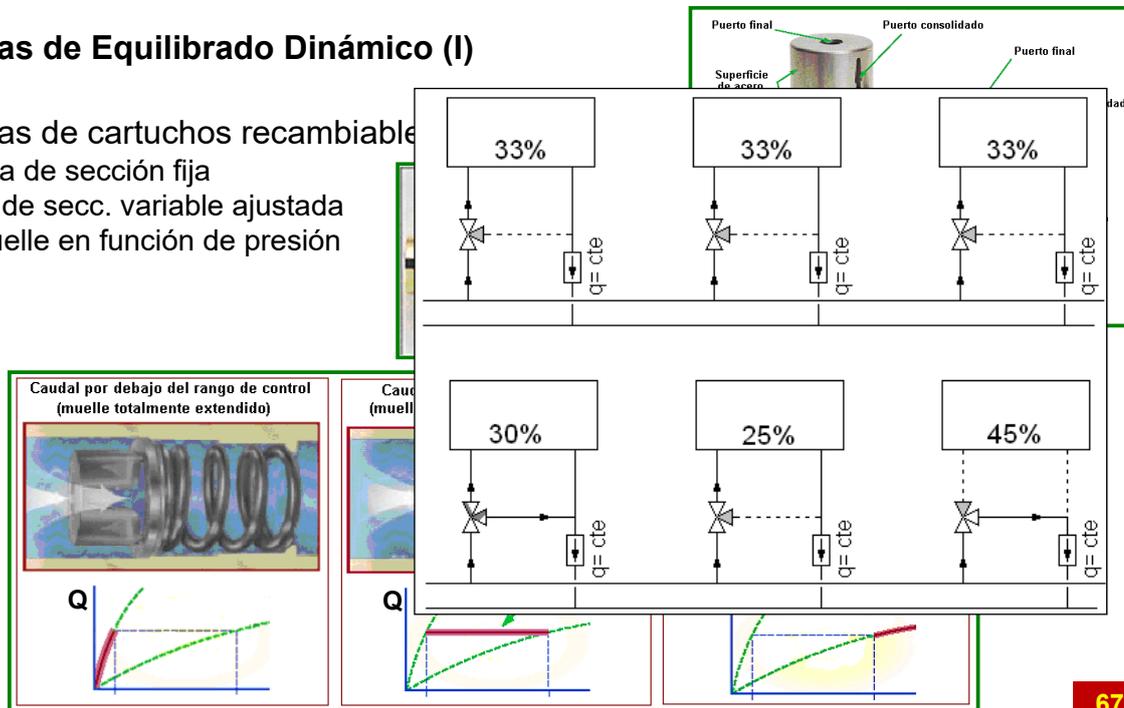
- Válvulas de cartuchos recambiables de caudal fijo  
Entrada de sección fija  
Salida de secc. variable ajustada por muelle en función de presión



9.- Equilibrado Hidráulico (VI)

Válvulas de Equilibrado Dinámico (I)

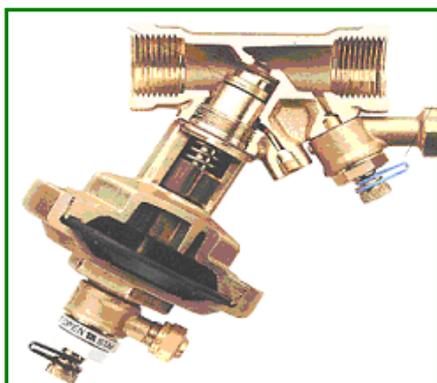
- Válvulas de cartuchos recambiables
- Entrada de sección fija
- Salida de secc. variable ajustada por muelle en función de presión



9.- Equilibrado Hidráulico (VII)

Válvulas de Equilibrado Dinámico (II)

- Válvulas de cartuchos recambiables de caudal ajustable exteriormente
- Válvulas estabilizadoras de la presión diferencial

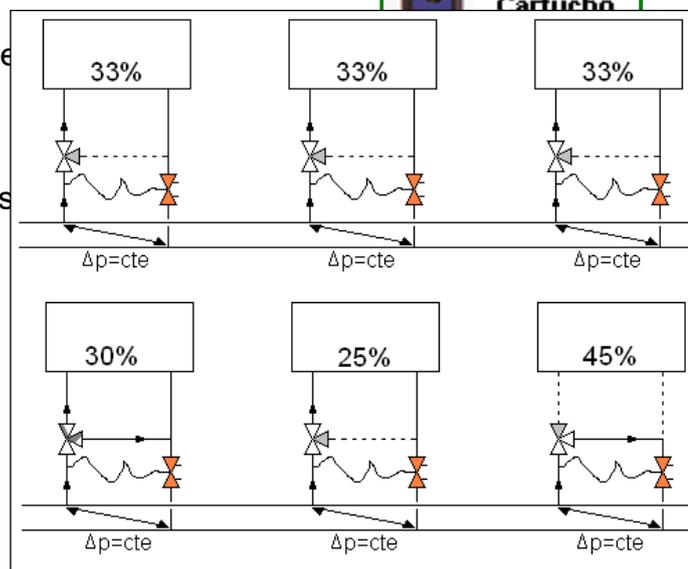
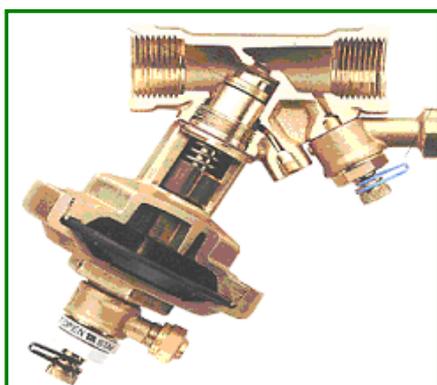


Juego de presiones sobre una membrana  
Capilar conecta con una válvula de equilibrado estático a la que permite realizar un control con presiones variables  
Equilibra las pérdidas de presiones en los tramos de manera que sean cte ( $\Rightarrow Q = cte$ )

### 9.- Equilibrado Hidráulico (VII)

#### Válvulas de Equilibrado Dinámico (II)

- Válvulas de cartuchos intercambiables ajustables exteriormente
- Válvulas estabilizadoras de la presión

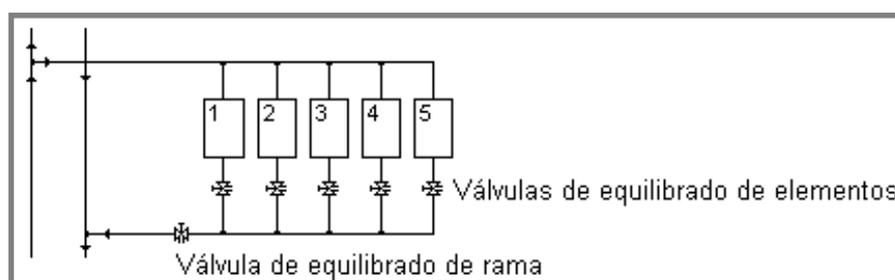


69

### 9.- Equilibrado Hidráulico (VIII)

Se divide el circuito en varios subcircuitos, equilibrándose primero cada subcircuito, para finalmente equilibrar la instalación

Son necesarias válvulas de equilibrado y de regulación de presión diferencial



Cuando se modifica el caudal de un circuito se desajustan los caudales de los demás circuitos que están en paralelo con él

Las válvulas equilibradoras autoajustan su posición para que en estas situaciones no se modifiquen los caudales

70

### 9.- Equilibrado Hidráulico (IX)

**Métodos** para conseguir el equilibrado hidráulico de los circuitos

- **El equilibrado proporcional:**

ajustar la válvula del último terminal, después ajustar la del ante último, lo que desajusta la del último, que se debe reajustar; repetir con el resto de las válvulas

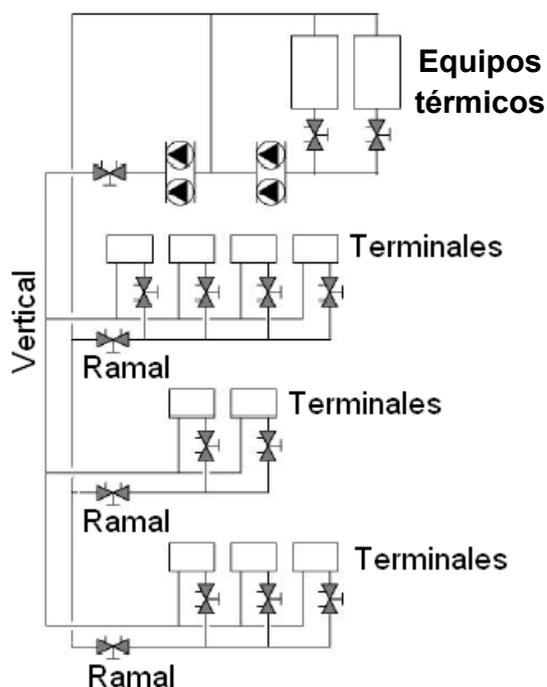
- **El procedimiento computerizado:**

se mide el caudal en cada válvula y la presión disponible, después el programa indica la posición que debe tener cada válvula



71

### 9.- Equilibrado Hidráulico (X)



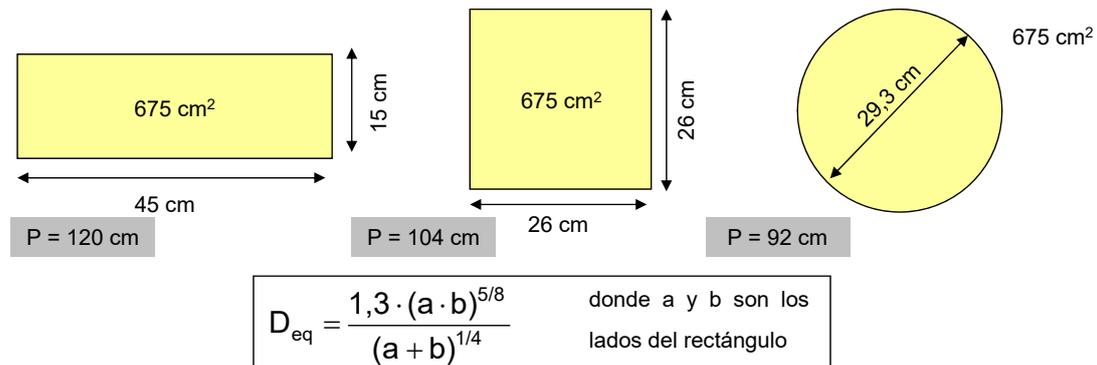
<http://www.tahydraulics.com/default.asp>

72

10.- Diseño de Conductos (I)

• Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (I)

Conductos circular equivalente

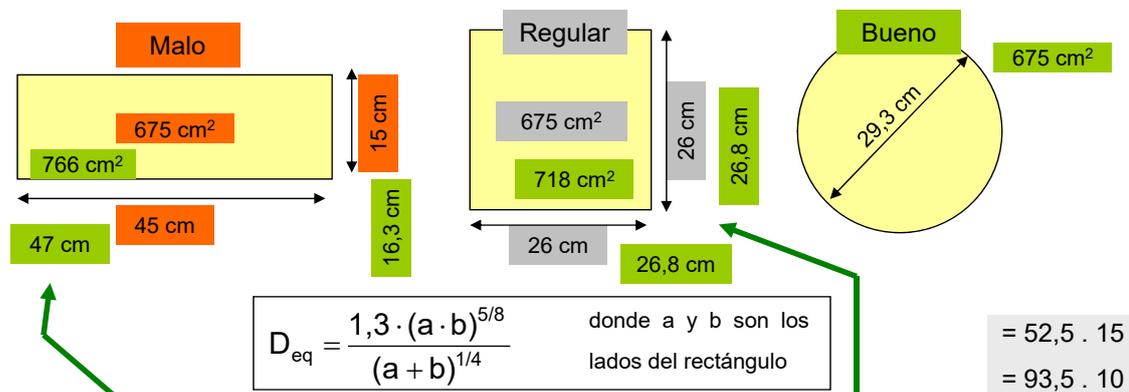


Igualdad de pérdida de carga en el conducto  
(equilibrio entre área y perímetro)

10.- Diseño de Conductos (I)

• Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (II)

Conductos circular equivalente



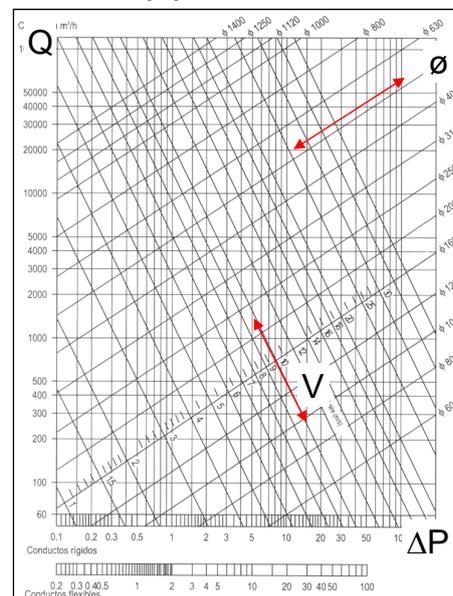
Igualdad de pérdida de carga en el conducto  
(equilibrio entre área y perímetro)

**10.- Diseño de Conductos (II)**

**• Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (II)**

$$D_{eq} = \frac{1,3 \cdot (a \cdot b)^{5/8}}{(a + b)^{1/4}}$$

donde a y b son los lados del rectángulo

**10.- Diseño de Conductos (III)**

**Métodos de cálculo de conductos (I):**

- Reducción de velocidad
- Pérdida de carga constante
- Igual pérdida de carga en cada rama
- Recuperación estática
- Optimización, T

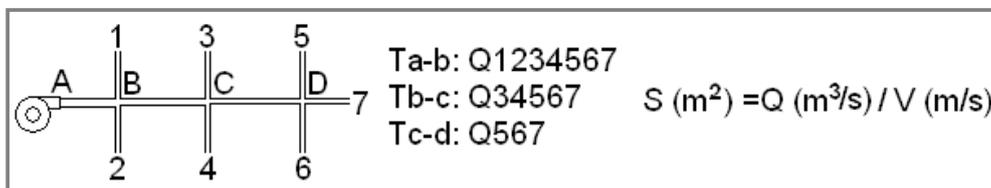
Utilización	Conductos Impulsión		Conductos Retorno	
	C. Principal	C. Derivado	C. Principal	C. Derivado
Residencia	5	3	4	3
Auditorios	6.5	5	5.5	4
Dormitorios	7.5	6	6.5	5
Oficinas	9	7	7	6

10.- Diseño de Conductos (IV)

Métodos de cálculo de conductos (II):

**Reducción de velocidad:** empleado para sistemas sencillos;

- Conocidos los caudales se realiza el trazado de los conductos.
- Se elige la velocidad del conducto principal, *tablas*
- Con el gráfico se dimensiona el conducto y se obtiene la pérdida de carga unitaria
- Para los siguientes tramos se va repitiendo el proceso con los caudales y la velocidad permitida
- El ventilador debe poseer la presión suficiente para suministrar la necesitada en el conducto más desfavorable



Requiere equilibrar los conductos

10.- Diseño de Conductos (V)

Métodos de cálculo de conductos (III):

**Pérdida de carga constante:** se fija una pérdida de carga constante por metro lineal de conducto (+ó- 0,1 mm.c.a./m); hay que equilibrar conductos

- Con el caudal y la pérdida de carga se obtienen en el gráfico la velocidad del conducto principal y la sección del conducto circular equivalente
- Se dimensiona el conducto principal rectangular equivalente al circular
- Cuando se realiza una derivación el área que debe tener cada uno de los dos conductos derivados se expresa como % del conducto del que derivan, *tablas*
- Finalmente se selecciona el ventilador; hay que equilibrar los conductos

% Caudal	% Area Conducto
1	2
5	9
10	16,5

% Caudal	% Area Conducto
35	43
40	48
45	53

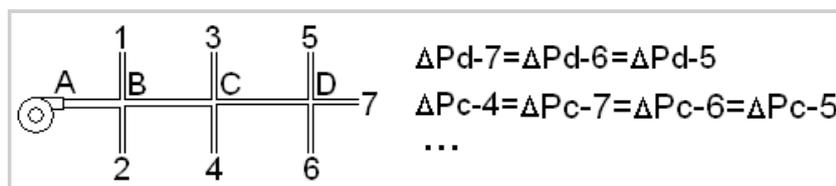
Requiere equilibrar los conductos, ofrece mejores resultados que el método anterior

### 10.- Diseño de Conductos (VI)

#### Métodos de cálculo de conductos (IV):

**Igualdad de pérdida en cada rama:** se diseñan todas las ramas con igualdad de pérdida de carga, resultan conductos equilibrados

- Se fija la pérdida de carga lineal en la rama más larga (long eq.), se resuelve como en el caso anterior y se selecciona el ventilador.
- Se coge la siguiente rama más larga y se calcula la pérdida por metro lineal en "el resto" del conducto, y se dimensiona como en el caso anterior



Resultan **conductos equilibrados**, pero **las velocidades pueden ser excesivas**, lo que puede obligar a recalcular la red

79

### 10.- Diseño de Conductos (VII)

#### Métodos de cálculo de conductos (V):

**Recuperación estática;** mantiene la misma presión estática en todas las bocas, con lo que resultan conductos equilibrados, para ello busca que la pérdida de presión por rozamiento se compense con la ganancia producida por reducción de velocidad

- Conocido el caudal de aire, se selecciona la velocidad del conducto principal o la pérdida de carga lineal, se dimensiona hasta la primera derivación
- Se dimensionan las derivaciones para que la recuperación estática ( $\downarrow v \Rightarrow \uparrow P$ ) sea igual a la pérdida de carga

Existe un gráfico para con el caudal de aire obtener la relación L/Q

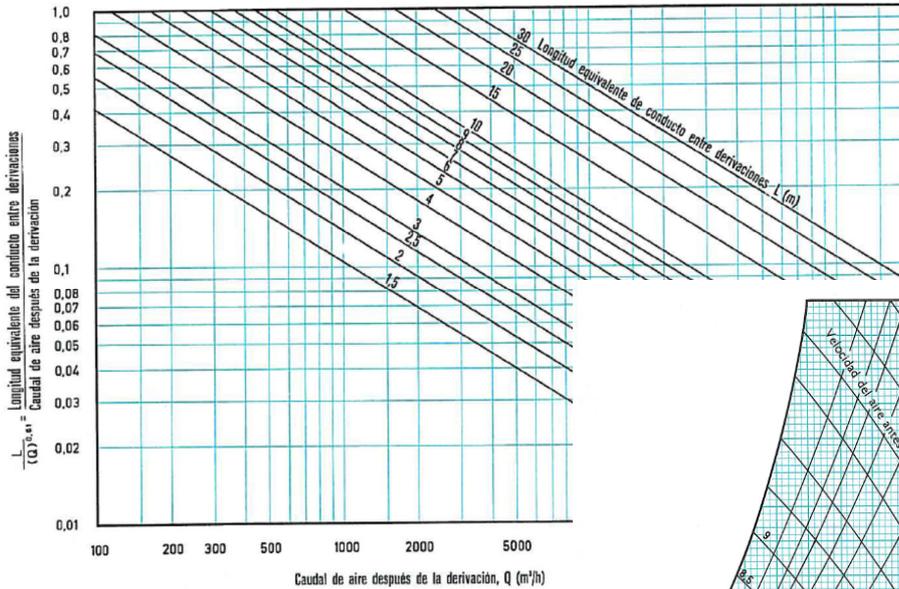
En un segundo gráfico con la relación L/Q y la velocidad antes de la derivación,  $v_1$ , se obtiene la velocidad después de la derivación,  $v_2$

Con  $v_2$  y el Q se determina la sección circular del conducto equivalente y con esta se dimensiona el conducto rectangular

El ventilador se selecciona por el conducto más desfavorable.

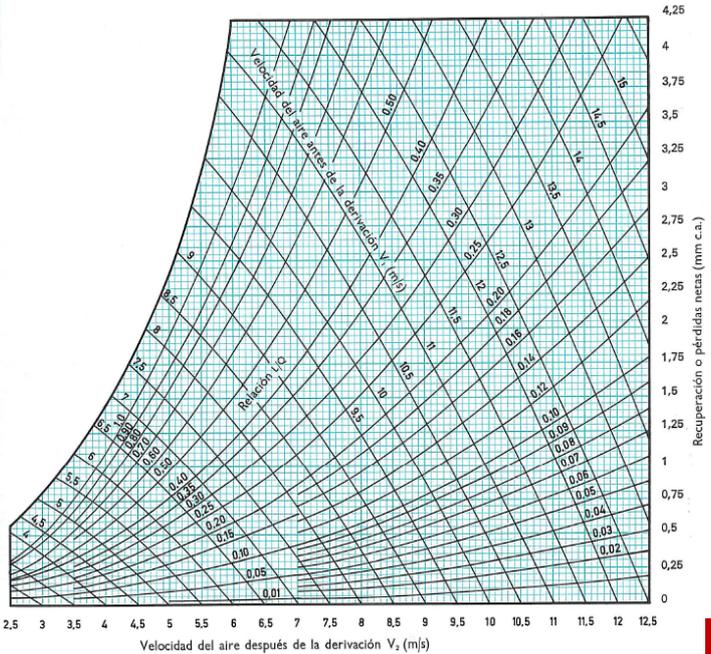
Resultan **conductos equilibrados** y de mayores dimensiones  $\Rightarrow$  ventilador menor (mayor coste de instalación, menor coste de explotación)

80



Existe un gráfico para con el caudal  
 En un segundo gráfico con la relación se obtiene la velocidad después  
 Con  $v_2$  y el  $Q$  se determina la sección se dimensiona el conducto recto  
 El ventilador se selecciona por el c

Resultan **conductos equilibrados** y de (mayor coste de instalación, menor COS



## T4.- FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS



### 10.- Diseño de Conductos (VIII)

#### Métodos de cálculo de conductos (VI):

##### **Metodo optimizado, método T;**

Consiste en dimensionar los conductos y el ventilador simultáneamente

Hay que obtener una función de coste de instalación y funcionamiento (difícil)

Se reduce la red a un conducto "equivalente", cuyas dimensiones se optimizan; finalmente se "rehace" la red

Método de buenos resultados pero cálculos muy complejos (ordenador)

Como **resumen final** del cálculo de conductos:

**Reducción de velocidad** sólo para **conductos de retorno con una única rama**

**Pérdida de carga cte** es muy empleado por su **sencillez**, (no equilibrado)

**Igual pérdida de carga**, hay que tener **cuidado con la velocidad**

**Recuperación estática**, conduce a **conductos equilibrados y mayores**, es aconsejable en alta velocidad

El **método T** requiere de un **programa informático**

**10.- Diseño de Conductos (IX)**

Saunier Duval

Tipo de conducto

**Materiales**

Conducto:  
ALUMINIO  
CHAPA  
CIRCULAR  
FIBRA + ALUMINIO  
FIBRA DE VIDRIO

Material: ALUMINIO

Espesor: 1 mm

Factor de fricción: 0,9

Solapa: 0 mm

9

**Zonas**

Inserción de Zonas:  
 Manual  
 Automática

Grupo General:  
DIA

Verano  
 Invierno  
 Superficie

Actualizar Zonas

NOMBRE	RATIO	CAUDAL
D 1	925	107
D 2	1.106	129
D 3	1.106	129
D 4	2.228	259
SALON COMEDOR	4.531	527

Zonas y caudales

Zona  
 Todo

Eliminar

**10.- Diseño de Conductos (X)**

Definición de conductos

INICIO	FINAL	LONGITUD	CONDUCTO	CURVAS	ZONA SALIDA	ANCHO	ALTO
1	2	0,5	FIBRA + ALUMINIO	0,0		450	150
2	3	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	ALON COMEDOR	250	150
2	4	3,5	FIBRA + ALUMINIO	0,0		300	150
4	5	2,0	FIBRA + ALUMINIO	2,0	D 4	150	150
4	10	2,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0		200	150
10	6	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 3	150	100
10	9	1,0	FIBRA + ALUMINIO	0,0		150	150
9	7	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 2	150	100
9	8	3,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 1	150	100

**Resultados**

Caudal: 1.151 m<sup>3</sup>/h

V: 5,4 m/s

P: 0,0716 mmca

D: 274 mm

Le: 0,50 m

Sup: 0,8 m<sup>2</sup>

Tramo  
 Rama  
 Todo

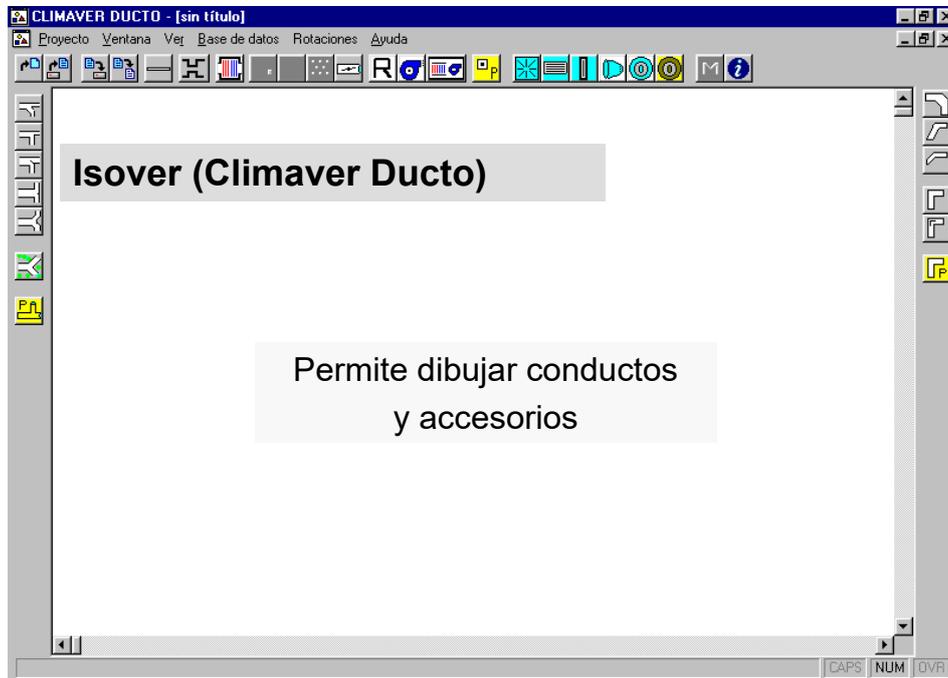
Eliminar

**Resultados**

MATERIALES			MÁXIMA PÉRDIDA					
MATERIAL	Sup/Long (m)	Diametros (mm)	Tramo	Pérdida	Pérdida/m	V <sub>i</sub> (m/s)	V <sub>f</sub> (m/s)	Le (m)
FIBRA + ALUMINIO	15,50		9 - 8	1,19	0,0938	5,4	2,1	12,68

Conducto más desfavorable para seleccionar ventilador

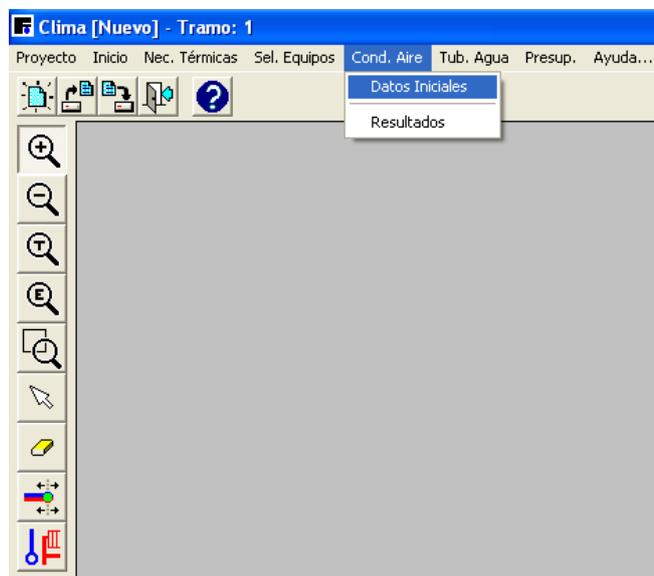
10.- Diseño de Conductos (XI)



85

10.- Diseño de Conductos (XII)

Ferrolli (A.A.)



86

10.- Diseño de Conductos (XIII)

**Datos Iniciales Conductos de Aire**

Material Conducto:

Denominación	Rugosidad (mm.)
Tubos de Acero Galvanizado	0.0900
Tubos de Acero Ligeramente Oxidados	1.0000
Conductos de Chapa Rebordeados	0.2500
Conductos aislados y aluminio interior	0.0600

Rugosidad (mm.): 0.0600

Forma de los Conductos:

Circular

Rectangular Altura Máxima (mm.): 30

Caudales y Velocidad:

Pot. Frigorífica Acondicionador (frig/h): 6000

Caudal Aire Acondicionador (m3/h): 5000

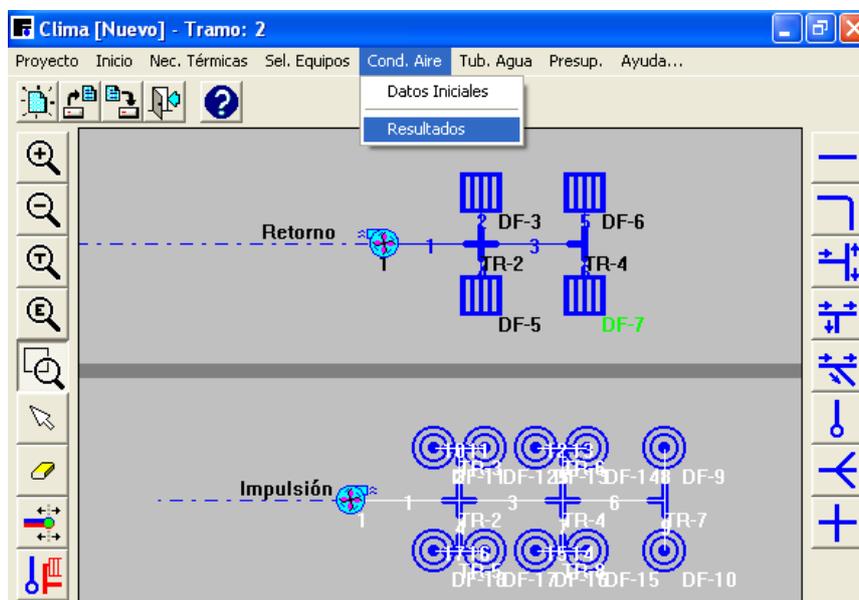
Todos los Caudales en los Difusores son Iguales

Velocidad Conductos Aire (m/s): 3

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

87

10.- Diseño de Conductos (XIV)



88

10.- Diseño de Conductos (XIV)

The screenshot shows the 'Clima [Nuevo] - Tramo: 2' software interface. Two dialog boxes are open: 'Editar Datos Longitud' with 'Longitud Tramo (m.):' set to 6.00, and 'Datos Difusor Aire' with 'Caudal Aire Difusor (m3/h):' and 'Perdida Carga Difusor (mmca):' set to 1.00. The background shows a duct network with components labeled 'Retorno', 'DF-3', and 'DF-6'.

10.- Diseño de Conductos (XV)

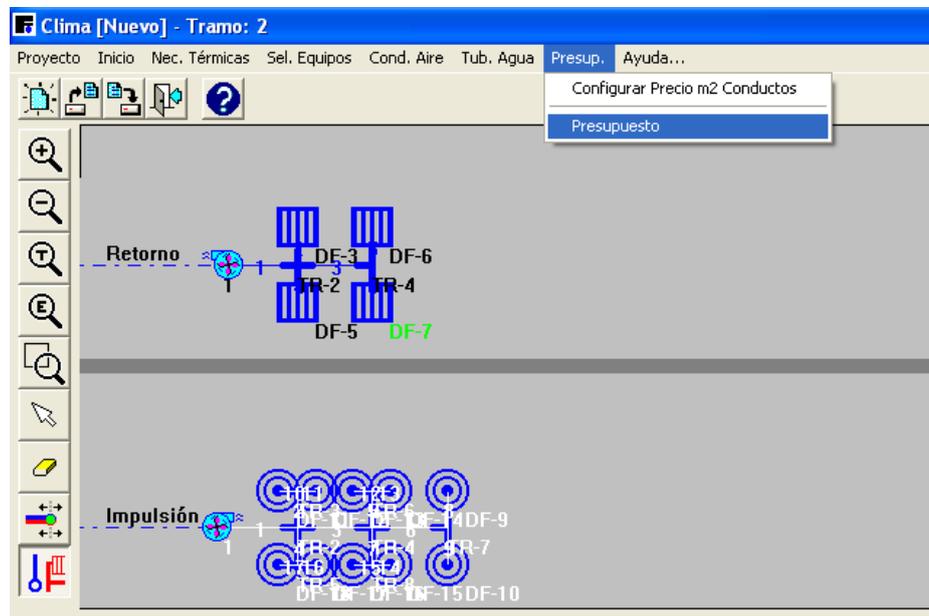
The screenshot shows the 'Clima [Nuevo] - Tramo: 2' software interface. A 'Resultados Conductos de Aire' dialog box is open, displaying a table of duct data. The table includes columns for 'Código (m)', 'Longitud (m)', 'Lado1 Lado2 (mm)', 'Caudal (m3/h)', 'Velocidad (m/s)', 'Trayectoria', 'Pérdida Carga Impulsión (mmca)', and 'Pérdida Carga Reto'. The background shows a duct network with components labeled 'DF-14', 'DF-9', 'TR-7', 'DF-10', 'DF-18', 'TR-5', 'DF-17', 'DF-16', 'TR-8', and 'DF-15'.

Código (m)	Longitud (m)	Lado1 Lado2 (mm)	Caudal (m3/h)	Velocidad (m/s)
I-16	1.5	215 x 215	500.00	3.00
I-17	1.5	215 x 215	500.00	3.00
R-1	7	300 x 1543	5000.00	3.00

Trayectoria	Pérdida Carga Impulsión (mmca)	Pérdida Carga Reto
I-1-3-6-8	2.28	-
I-1-3-6-9	2.28	-
I-1-2-10	2.65	-

10.- Diseño de Conductos (XVI)



10.- Diseño de Conductos (XVI)

Nº Orden	Código	Denominación	Precio U. (€)	Unidades	Precio Total (€)
1	460000799	Acondicionad. 09-2	2921.00	4	11684.00
2	460000619	Acondicionad. 07	2730.00	1	2730.00
3	-	Medición Conductos	15.00	4.50	67.50
Total...				14481.50	

¿Qué método de cálculo?

10.- Diseño de Conductos (XVII)

<https://www.ursa.es/herramientas/>

**Cálculo Aire Acondicionado**

**Calculo carga frigorífica**  
Programa para el cálculo y dimensionado de las secciones necesarias de una red de conductos. Este dimensionado se realiza para garantizar el correcto reparto de caudales entre las diferentes derivaciones. Este reparto de caudales es uno de los parámetros de entrada, y debe determinarse previamente, de forma proporcional a las necesidades de carga frigorífica de cada uno de los locales a climatizar. Otro valor de entrada es la velocidad inicial del aire en la instalación, el cual debe acotarse en función del uso del local, para acotar el ruido

**Dimensionado redes URSA AIR**  
Programa para el cálculo y dimensionado de las secciones necesarias de una red de conductos. Este dimensionado se realiza para garantizar el correcto reparto de caudales entre las diferentes derivaciones. Este reparto de caudales es uno de los parámetros de entrada, y debe determinarse previamente, de forma proporcional a las necesidades de carga frigorífica de cada uno de los locales a climatizar. Otro valor de entrada es la velocidad inicial del aire en la instalación, el cual debe acotarse en función del uso del local, para acotar el ruido

**Atenuación acústica de instalaciones de conductos**  
Programa para el cálculo de la curva de nivel de presión acústica percibido en un local procedente de una instalación de climatización por conductos. El programa solicita información del equipo de climatización, y del nivel de potencia acústica declarado (si puede proporcionarse dicha información), para cuantificar la energía acústica que aportan dichas fuentes sonoras. El programa solicita información de la red de conductos, para valorar las

10.- D

**Cálculo de Atenuación acústica de instalaciones de conductos**  
Programa para el cálculo de la curva de nivel de presión acústica percibido en un local procedente de una instalación de climatización por conductos. El programa solicita información del equipo de climatización, y del nivel de potencia acústica declarado (si puede proporcionarse dicha información), para cuantificar la energía acústica que aportan dichas fuentes sonoras. El programa solicita información de la red de conductos, para valorar las pérdidas por inserción que se producen gracias a la absorción acústica de los paneles URSA AIR. El programa solicita información del local receptor y de los elementos de difusión, para valor de qué manera y con qué directividad, el ruido es percibido por el usuario, ya sea por inmisión directa o debido a las reverberaciones en la sala. El programa calcula la curva de nivel de presión sonora percibida en dB para frecuencias en octavas, el nivel de presión sonora global en dBA, y compara la curva con las curvas de confort NC.

**Medición de conductos**  
Programa para la medición de los m2 de instalación relativa a una instalación con una geometría determinada. A partir de la información de número de tramos, de longitud y sección determinadas, y de las figuras existentes, se dimensiona los m2 de paneles URSA AIR de despiece. Adicionalmente, si se indica el salto térmico entre el aire transportado por el conducto y el aire exterior, el programa calcula las pérdidas energéticas (considerando una resistencia térmica del panel de lana mineral de 0,75 m2W/K). El programa se basa en la normativa UNE 92.315.

**Open BIM URSA AIR**  
Modelado de conductos de climatización con paneles de lana mineral URSA AIR. Esta aplicación está integrada en el flujo de trabajo Open BIM a través del estándar IFC. Disponible en castellano e inglés.

Descargar

Download

Descargar

entrada es la velocidad inicial del aire en la instalación, el cual debe acotarse en función del uso del local, para acotar el ruido

entrada es la velocidad inicial del aire en la instalación, el cual debe acotarse en función del uso del local, para acotar el ruido

sonoras. El programa solicita información de la red de conductos, para valorar las

**10.- Diseño de Conductos (XVIII)**

<https://www.ursa.es/formacion-ursa/>

**URSA Desarrollo Profesional**

URSA Ibérica ha puesto en marcha URSA Desarrollo Profesional, un espacio online donde trabajador puede mejorar su formación de una manera rápida y sencilla. El espacio, que se ha lanzado con una interesante oferta de cursos para Instaladores de Aire, contará con formación específica sobre Sostenibilidad, Climatización, Ahorro de Energía y Protección Frente al Ruido. Todos ellos estarán impartidos por profesionales altamente cualificados. Además, al ser online, el profesional podrá establecer su propio ritmo de aprendizaje, siendo más sencillo así en concluir la materia.

Al término del mismo, se entregará un certificado de superación del curso. URSA Desarrollo Profesional es un espacio online donde profesionales y estudiantes pueden mejorar su capacitación de una manera rápida y sencilla.

Síguenos en nuestras redes sociales y conocerás los nuevos cursos, sus contenidos y los requisitos para realizarlos.

Para más información se puede visitar el portal [www.ursaformacion.es](http://www.ursaformacion.es)

**Cursos**

Fundamentos de acústica

**10.- D**

**Cursos**

Curso de Acústica Arquitectónica

Curso de novedades del CTE

Curso de Fundamentos de Acústica

Curso de construcción de conductos

**Cursos**

Fundamentos de acústica