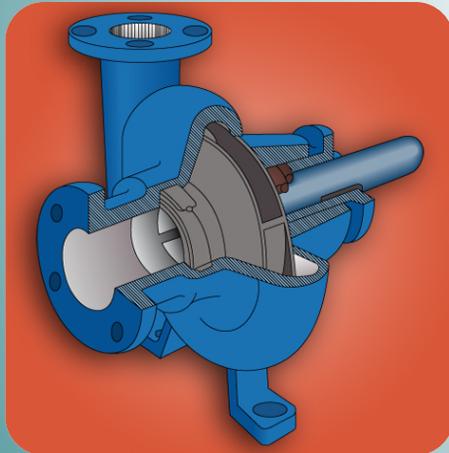


# Sistemas y Máquinas Fluido Mecánicas

Bloque III. Tema 6.3. Neumática Industrial: Generación y Distribución de Aire



**Carlos J. Renedo**

**Inmaculada Fernández Diego**

**Juan Carcedo Haya**

**Félix Ortiz Fernández**

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



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

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

### **3.1.- Neumática Industrial**

- 3.1.1.- Introducción a la Neumática Industrial
- 3.1.2.- Tratamiento de Aire
- 3.1.3.- Generación y Distribución de Aire**
- 3.1.4.- Actuadores Neumáticos
- 3.1.5.- Válvulas Distribuidoras
- 3.1.6.- Regulación, Control y Bloqueo
- 3.1.7.- Detectores de Señal
- 3.1.8.- Control de Actuadores
- 3.1.9.- Diseño de Circuitos
- 3.1.10.- Ciclos de Operación
- 3.1.11.- Marcha-Paro
- 3.1.12.- ElectroNeumática

### **3.2.- Hidráulica Industrial**

### **3.3.- Simbología Neumática e Hidráulica**



- **Introducción**
- **Compresores**
- **Bombas de Vacío**
- **Acumuladores de Aire**
- **Red de Distribución de Aire**
- **Cálculo de la Red de Distribución**



## Introducción

### Compresor:

Es el elemento que tomando aire atmosférico, eleva su presión y se encarga de suministrarlo por la instalación

Su rendimiento en la compresión es del orden del 20%

La  $T^a$  del aire a la salida es del orden de 70 a 80°C

Se deben considerar la presión y caudal demandados

### Los Acumuladores:

Son depósitos para almacenar aire comprimido

Amortiguan el consumo

Evitan grandes secciones de tuberías

Reducen el número de arranques del compresor

### La Red de Distribución:

Reparte el aire comprimido por la instalación

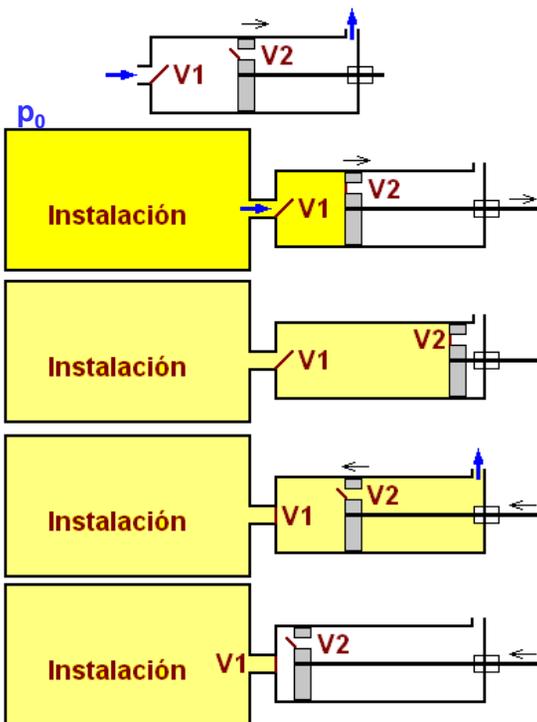
Reducir la presión en una red 1 bar puede aumentar el rendimiento de la misma un 15%



## **Compresores**

**Ver en el Bloque 2 el Tema 6: Compresores**

**Bombas de Vacío**



Supuesta la expansión isotérmica

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} = p_1 \cdot (V_0 + \Delta V) \\ V_0 = V_{\text{Instalación}} \end{array} \right.$$

$$p_1 = p_0 \cdot \frac{V_0}{(V_0 + \Delta V)}$$

otra embolada ...

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_0}{(V_0 + \Delta V)} \quad \left\{ \begin{array}{l} = p_0 \cdot \left( \frac{V_0}{(V_0 + \Delta V)} \right)^2 \end{array} \right.$$

n emboladas

$$p_n = p_0 \cdot \left( \frac{V_0}{(V_0 + \Delta V)} \right)^n$$

### Acumuladores de Aire (I)

Almacenar al aire (reserva)

Estabilizar las fluctuaciones de presión (ayuda al compresor)

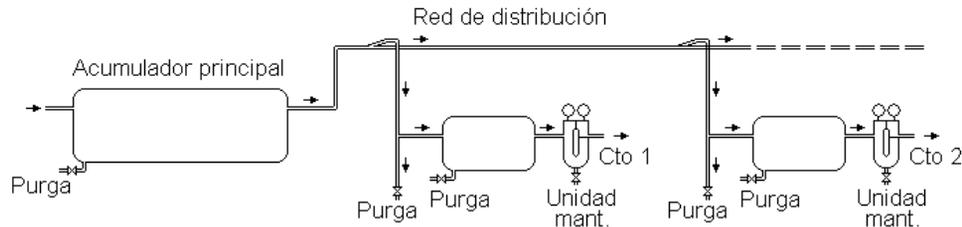
Limita las demandas punta

Ayudan a enfriar el aire

Retener impurezas (tiempo de retención largo, tomas en los extremos)

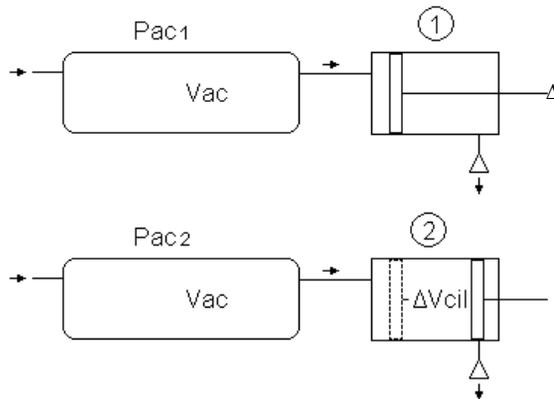
Retienen el agua condensada (toma de purga)

Un acumulador principal, varios secundarios o intermedios



**Acumuladores de Aire (II)**

$$\text{Volumen acumulación (m}^3\text{)} = \frac{15 \cdot \text{Consumo actuadores (m}^3\text{/min)}}{\text{Conmutaciones hora} \cdot \text{Pérdida presión (bar)}}$$



$$\text{Pérdida presión} = \Delta P = P_{ac1} - P_{ac2}$$

$$V_{ac2} = V_{ac} + \Delta V_{cil}$$

$$P_{ac1} \cdot V_{ac} = P_{ac2} \cdot (V_{ac} + \Delta V_{cil})$$

$$V_{ac} = \frac{P_{ac2} \cdot \Delta V_{cil}}{\Delta P}$$

Volumen generoso  $\Rightarrow$  posibles ampliaciones de la red

**Acumuladores de Aire (III)**

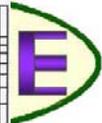
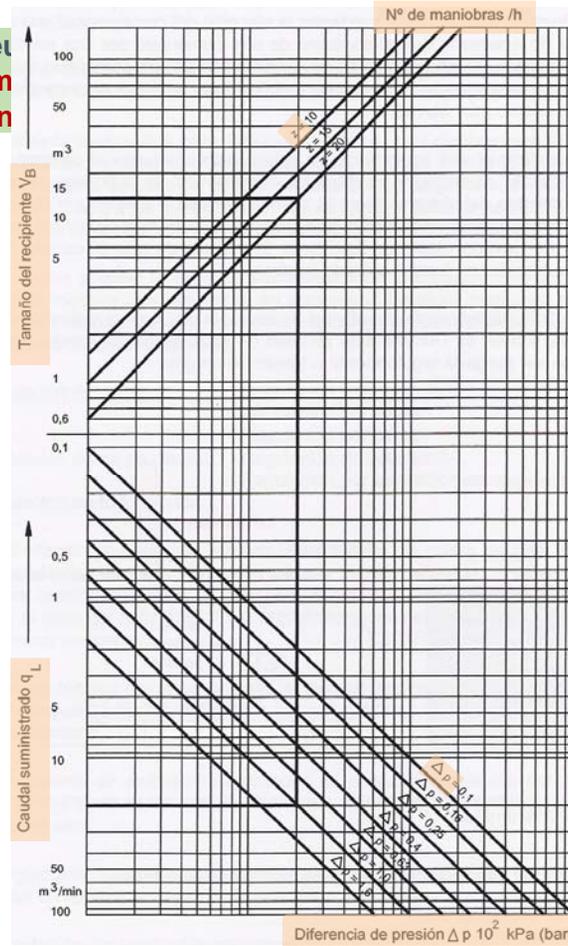
| Dispositivo               | Consumo     |
|---------------------------|-------------|
| Elevador<br>(0,5 a 5 Ton) | 20 a 55 l/s |
| Taladro                   | 3 a 22 l/s  |
| Taladradora<br>1 kW       | 18 l/s      |
| Taladradora<br>2 kW       | 35 l/s      |
| Lijadora<br>0,75 kW       | 17 l/s      |

| Dispositivo                | Consumo     |
|----------------------------|-------------|
| Pistola                    | 8 l/s       |
| Pistola chorro<br>de arena | 20 a 32 l/s |
| Pistola de<br>inyección    | 10 l/s      |
| Destornillador<br>0,3 kW   | 5 l/s       |
| Destornillador<br>percusor | 15 a 30 l/s |

| Dispositivo            | Consumo    |
|------------------------|------------|
| Motor<br>1,4 kW        | 36 l/s     |
| Motor<br>3,5 kW        | 84 l/s     |
| Martillo<br>cincelador | 8 l/s      |
| Cortador<br>de roscas  | 16 l/s     |
| Amoladora              | 5 a 24 l/s |

**Acumuladores de Aire (IV)**

**Gráfico de Selección Rápida**



## Acumuladores de Aire (V)

## Drenaje del Agua

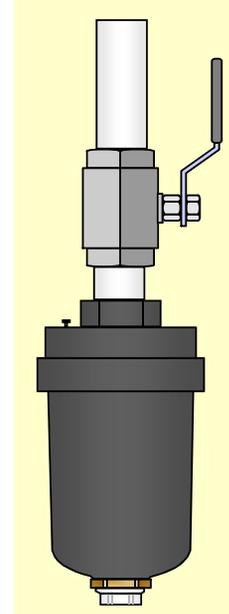
Debe tener un punto de drenaje en el fondo del acumulador para eliminar el agua condensada al enfriarse el aire en su interior

El agua se drena automáticamente al comunicar presión a la válvula

Incorpora un filtro de malla para retener partículas sólidas

La válvula de aislamiento se coloca para el mantenimiento

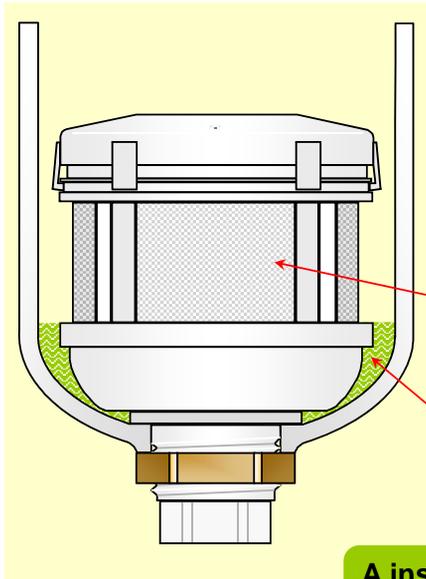
Incorpora una válvula de purga para despresurizar la unidad antes del mantenimiento



Válvula de drenaje automático en las terminaciones de los ramales

### Acumuladores de Aire (VI)

### Válvulas de Drenaje Automático (I)



Cuando sube el nivel de agua la válvula abre para expulsarlo, después cierra

Sin presión la válvula abre para drenar el sistema

En el fondo incorpora un filtro o una conexión para instalarlo

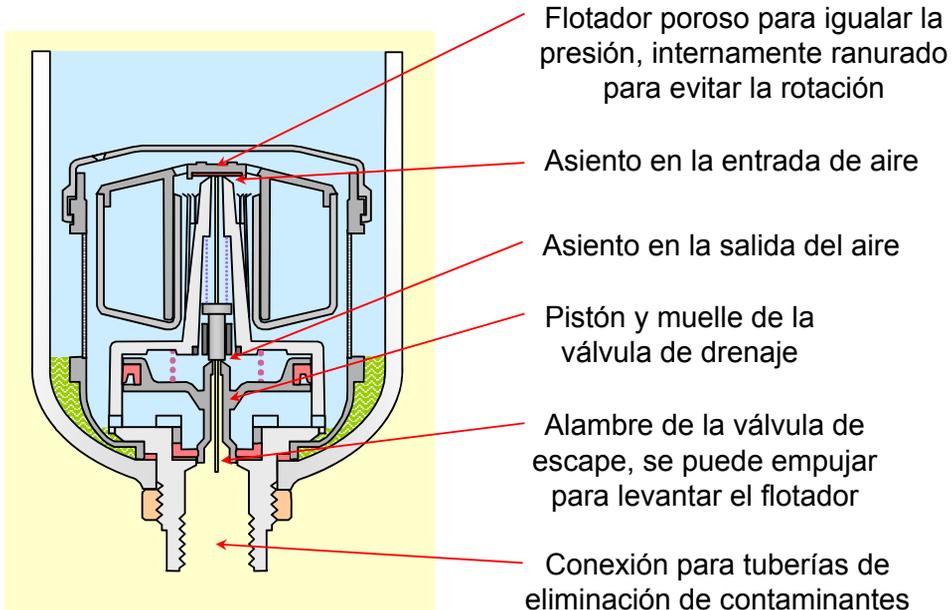
Malla de nylon 500 micras para evitar la obstrucción grandes partículas sólidas internas

Zona muerta donde las partículas grandes se pueden depositar

**A instalar en el acumulador y en las terminaciones de los ramales**

**Acumuladores de Aire (VI)**

**Válvulas de Drenaje Automático (II)**



### Red de Distribución de Aire (I)

Se debe calcular el consumo instantáneo de los aparatos, considerando factores de simultaneidad

|                  |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Nº elementos     | 2    | 3    | 4    | 5    | 10   | 15   |
| Factor simultan. | 0,94 | 0,89 | 0,86 | 0,83 | 0,71 | 0,65 |

Hay que minimizar pérdidas de cargas (< 5%)

Por cada bar de reducción en la presión de suministro se ahorra un 15% de la energía

La velocidad en la tubería principal del orden de 6 m/s, pudiendo llegar a 10 en los ramales. En la alimentación a cilindros puede llegar a 50 m/s

Debe facilitar eliminación del agua, por lo que tiene que tener pendientes descendentes (1-2%) en el sentido de circulación del aire

Hay que prever el montaje y las posibles ampliaciones

## Red de Distribución de Aire (II)

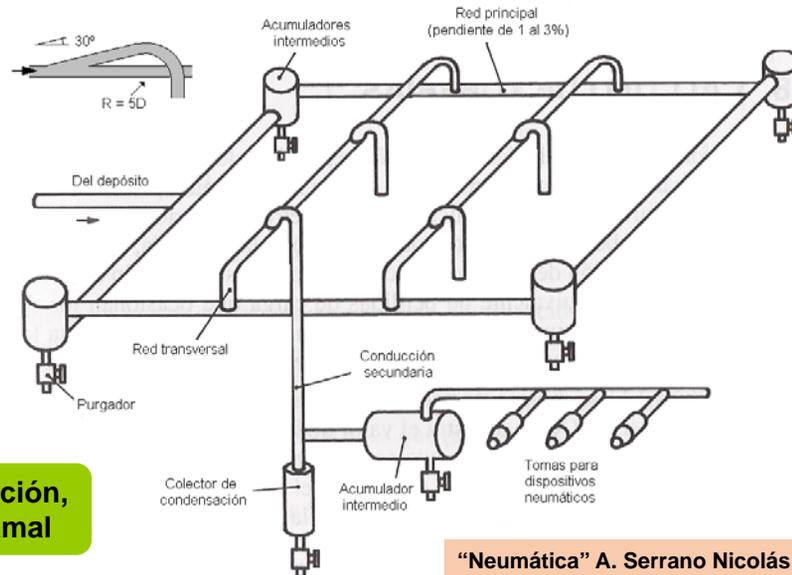
La red puede ser en línea, pero mejor en anillo (tiene menos pérdidas de carga, y facilita ampliaciones y mantenimiento al poder aislar partes)

Las salidas desde arriba para evitar la entrada de agua en los ramales

Se pueden instalar acumuladores locales

Se instalan drenajes en cada ramal y cada acumulador

Si una parte necesita lubricación, se lubrica solamente ese ramal



### Red de Distribución de Aire (III)

#### Tuberías de Plástico (T entre -40 y 20°C)

| Presión máx<br>(bar) | Diámetro exterior (mm) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                      | 4                      | 5  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 22 | 28 |
| Polyamida (PA)       | 28                     | 31 | 26 | 19 | 24 | 18 | 15 | 18 | 15 | 15 |
| Poliuretano (PU)     | 10                     | 11 | 10 | 9  | 9  | 9  |    |    |    |    |

|                                 |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C)                | 30   | 40   | 50   | 60   | 80   |
| Factor corrector de presión máx | 0,83 | 0,72 | 0,64 | 0,57 | 0,47 |

#### Tuberías de cobre y acero (T entre -40 y 50°C)

| Presión máx<br>(bar) | Diámetro exterior (mm) |     |     |     |     |     |    |    |    |
|----------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
|                      | 4                      | 5   | 6   | 8   | 10  | 12  | 16 | 22 | 28 |
| Cobre recocido       | 128                    | 138 | 112 | 81  | 64  | 81  | 59 | 53 | 41 |
| Cobre blando         | 193                    | 208 | 218 | 157 | 150 | 122 | 89 | 81 | 62 |
| Acero                |                        |     | 300 | 250 | 195 | 160 |    |    |    |

|                                 |          |      |      |      |      |
|---------------------------------|----------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C)                | 100      | 150  | 175  | 200  |      |
| Factor corrector de presión máx | Recocido | 0,97 | 0,82 | 0,63 | 0,43 |
|                                 | Blando   | 0,95 | 0,88 | 0,54 | 0,29 |

**Red de Distribución de Aire (IV)**

| Flujo máximo recomendado (l/s) |             |     |     |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diámetro<br>(mm)               | Presión Bar |     |     |       |       |       |       |       |
|                                | 0,5         | 1   | 2   | 4     | 6     | 8     | 10    | 12,5  |
| 16                             | 0,9         | 2   | 4   | 8     | 12    | 18    | 21    | 26    |
| 20                             | 1           | 2   | 5   | 10    | 16    | 23    | 28    | 38    |
| 25                             | 2           | 4   | 11  | 19    | 31    | 43    | 54    | 71    |
| 32                             | 4           | 9   | 23  | 42    | 63    | 82    | 107   | 134   |
| 40                             | 8           | 19  | 43  | 85    | 120   | 160   | 195   | 245   |
| 50                             | 13          | 27  | 65  | 122   | 194   | 261   | 337   | 440   |
| 63                             | 25          | 50  | 119 | 229   | 366   | 492   | 646   | 805   |
| 75                             | 36          | 80  | 201 | 360   | 656   | 791   | 975   | 1.275 |
| 90                             | 60          | 135 | 309 | 570   | 885   | 1.271 | 1.525 | 2.043 |
| 110                            | 105         | 225 | 521 | 1.000 | 1.570 | 2.210 | 2.710 | 3.444 |

**Red de Distribución  
de Aire (V)**

| Colocación de soportes |                                     |                                       |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Diámetro (mm)          | Distancia máx en tramo vertical (m) | Distancia máx en tramo horizontal (m) |
| 8                      | 1,25                                | 1                                     |
| 10                     | 1,25                                | 1                                     |
| 15                     | 1,75                                | 1,25                                  |
| 20                     | 2,5                                 | 1,75                                  |
| 25                     | 2,7                                 | 1,75                                  |
| 32                     | 3                                   | 2,5                                   |
| 40                     | 3                                   | 2,5                                   |
| 50                     | 3                                   | 2,75                                  |
| 65                     | 3,5                                 | 3                                     |
| 100                    | 3,5                                 | 3                                     |
| 150                    | 4,25                                | 3,5                                   |
| 200                    | 4,5                                 | 3,5                                   |
| 250                    | 5,2                                 | 4,25                                  |
| 300 o más              | 5,5                                 | 4,9                                   |

**Red de Distribución de Aire (VI)**

Las fugas son muy perjudiciales para el consumo energético de una instalación

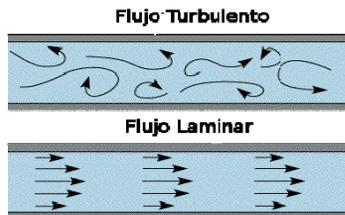
| <b>Diámetro Orificio (mm)</b> | <b>Pérdida de aire a 7 bar (l/s)</b> | <b>Potencia perdida del compresor (kW)</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0,5                           | 0,2                                  | 0,06                                       |
| 1                             | 0,8                                  | 0,24                                       |
| 1,5                           | 1,8                                  | 0,54                                       |
| 2                             | 3,1                                  | 0,93                                       |
| 6                             | 28,2                                 | 8,5  |
| 10                            | 78,1                                 | 23,4                                       |

En una instalación funcionando no se escuchan

**Red de Distribución de Aire (VII)**

**Pérdidas de Carga**

En tuberías (l): marcadas por la ec. de *Darcy*,  $H_L$  (en régimen laminar y turbulento)



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

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

**Flujo laminar (Re < 2.000):**

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

- $\nu$  la viscosidad cinemática
- $D$  el diámetro de la tubería

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

$H_L$ , Re y f



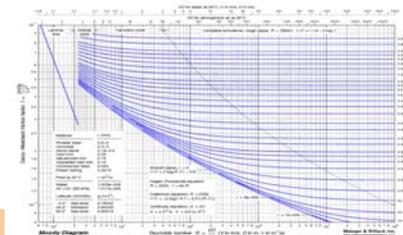
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\rho \cdot D^2} \quad (\text{m})$$

- $\mu$  viscosidad dinámica
- $\rho$  Densidad

**Flujo turbulento ( Re > 4.000):**

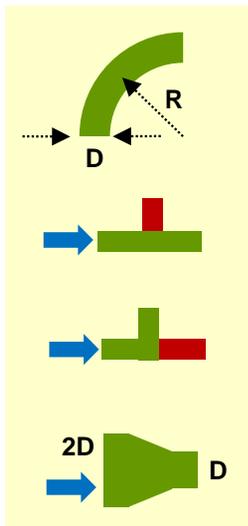
Ecuación Colebrook-white  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\epsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$

Diagrama de Moody



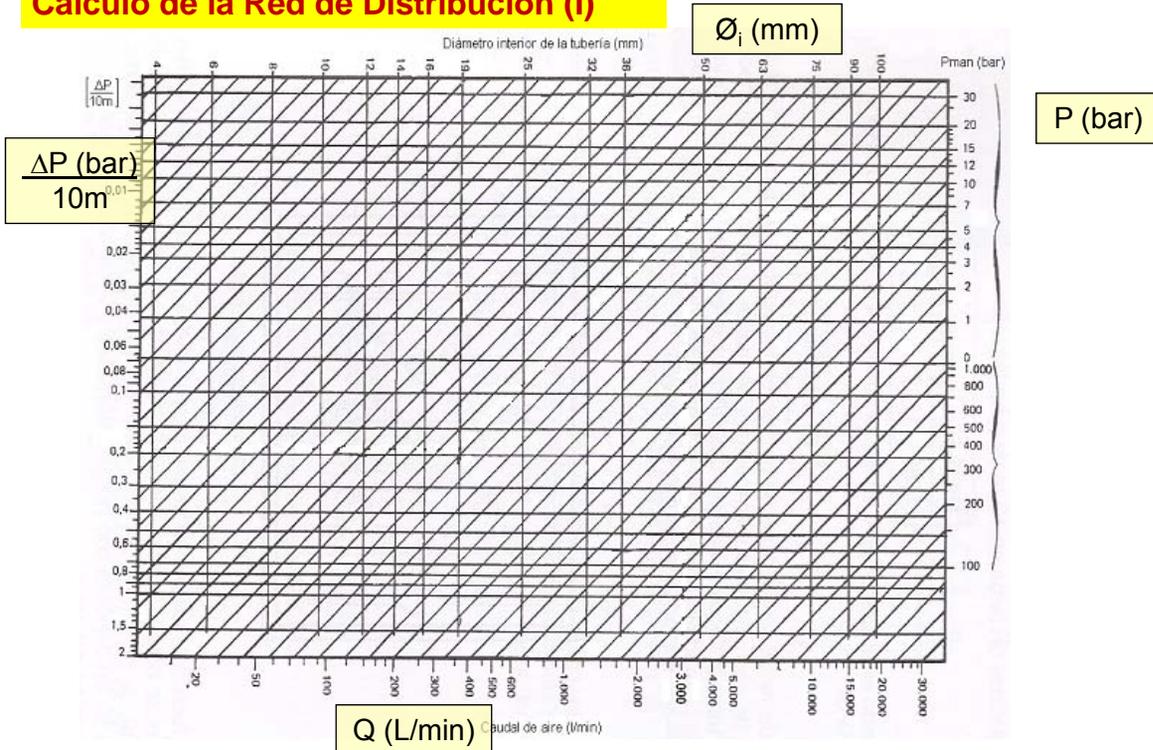
**Pérdidas de carga (III):**

En accesorios  
(Longitud equivalente:  $L_{eq}$ )

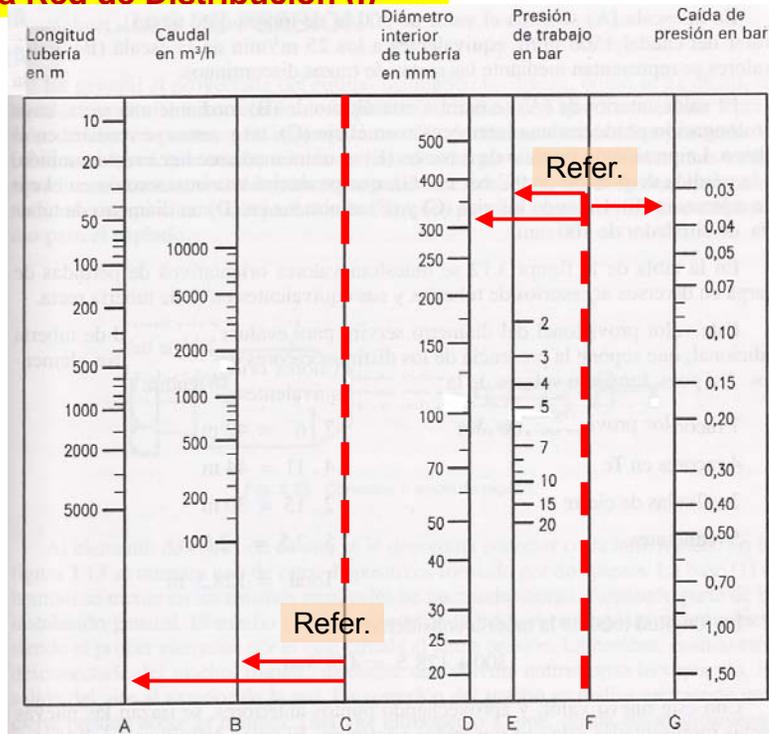


|                               |             | Longitud Equivalente de Tubería (m)  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------------------------|-------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                               |             | Diámetro interior de la Tubería (mm) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|                               |             | 25                                   | 40  | 50  | 80  | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 |  |
| Válvula de Compuerta          | Abierta     | 0,3                                  | 0,5 | 0,6 | 1   | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,6 | 3,2 | 3,9 | 5,2 |  |
|                               | Semiabierta | 5                                    | 8   | 10  | 16  | 20  | 25  | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  |  |
| Válvula de Diafragma          | Abierta     | 1,5                                  | 2,5 | 3   | 4,5 | 6   | 8   | 10  |     |     |     |     |  |
| Válvula Acodada               | Abierta     | 4                                    | 6   | 7   | 12  | 15  | 18  | 22  | 30  | 36  |     |     |  |
| Válvula Esférica              | Abierta     | 7,5                                  | 12  | 15  | 24  | 30  | 38  | 45  | 60  |     |     |     |  |
| Válvula Antiretorno Pivotante | Abierta     | 2                                    | 3,2 | 4   | 6,4 | 8   | 10  | 12  | 16  | 20  | 24  | 32  |  |
| Codo                          | R = 2.D     | 0,3                                  | 0,5 | 0,6 | 1   | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,4 | 3   | 3,6 | 4,8 |  |
|                               | R = D       | 0,4                                  | 0,6 | 0,8 | 1,3 | 1,6 | 2   | 2,4 | 3,2 | 4   | 4,8 | 8,4 |  |
| Angulo 90°                    |             | 2,4                                  | 3   | 4,8 | 6   | 7,5 | 9   | 12  | 15  | 18  | 24  |     |  |
| Te, lado recto                |             | 0,8                                  | 1   | 1,6 | 2   | 2,5 | 3   | 4   | 5   | 6   | 8   |     |  |
| Te, salida angular            |             | 1,5                                  | 2,4 | 3   | 4,8 | 6   | 7,5 | 9   | 12  | 15  | 18  |     |  |
| Reductor                      |             | 0,5                                  | 0,7 | 1   | 2   | 2,5 | 3,1 | 3,6 | 4,8 | 6   | 7,2 | 9,6 |  |

**Cálculo de la Red de Distribución (I)**



**Cálculo de la Red de Distribución (I)**



**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

**Selección Rápida (I)**

**Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA:**  
**«Instalaciones de gas. Aire comprimido»**

**Tubería por tablas de Q y P (I)**

| d(mm)   | P ( kPa) |         |     |       |       |
|---------|----------|---------|-----|-------|-------|
| Q (l/s) | 100      | 200     | 500 | 1.000 | 1.500 |
| 1       | 10       | 10      | 8   | 8     | 8     |
| 5       | 22       | 18      | 12  | 10    | 10    |
| 10      | 28       | 22      | 18  | 15    | 12    |
| 15      | 35       | 28      | 18  | 15    | 15    |
| 20      | 42       | 35      | 22  | 18    | 15    |
| 25      | 42       | 35      | 28  | 22    | 18    |
| 50      | Dos tub. | Dos tub | 35  | 28    | 22    |

**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

**Selección Rápida (II)**

**Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA:  
«Instalaciones de gas. Aire comprimido»**

$$\Delta P = \frac{dP \cdot [L + \sum L_e]}{10}$$

L: longitud del tramo

Le: longitud equivalente de accesorios

**NTE de la tubería por tablas de Q y P (II)**

| dP (kPa/m) | P ( kPa) |         |     |     |       |
|------------|----------|---------|-----|-----|-------|
|            | Q (l/s)  | 100     | 200 | 500 | 1.000 |
| 1          | 2,5      | 1,7     | 2,5 | 1,4 | 1,0   |
| 5          | 1,0      | 1,7     | 6,6 | 8,9 | 6,1   |
| 10         | 1,0      | 2,3     | 3,1 | 4,2 | 8,9   |
| 15         | 0,7      | 1,5     | 2,4 | 9,0 | 6,2   |
| 20         | 0,5      | 0,8     | 4,1 | 6,1 | 10,5  |
| 25         | 0,7      | 1,2     | 1,9 | 3,4 | 6,4   |
| 50         | Dos tub. | Dos tub | 2,2 | 3,7 | 8,4   |

**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

**Selección Rápida (III)**

**Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA:**  
**«Instalaciones de gas. Aire comprimido»**

$$\Delta P = \frac{dP \cdot [L + \sum L_e]}{10}$$

L: longitud del tramo

Le: longitud equivalente de accesorios

**NTE de la tubería por tablas de Q y P (III)**

| L <sub>e</sub> (m)              | D tubería (mm) |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|
|                                 | Q (l/s)        | < 10 | 15   | 22   | 35   | 42   |
| Curva 90° (r <sub>c</sub> = 5D) |                | 0,15 | 0,18 | 0,25 | 0,45 | 0,50 |
| Curva 90° (r <sub>c</sub> = 3D) |                | 0,20 | 0,28 | 0,37 | 0,60 | 0,70 |
| Codo a 45°                      |                | 0,10 | 0,14 | 0,18 | 0,28 | 0,34 |
| Codo a 90°                      |                | 0,40 | 0,55 | 0,75 | 1,20 | 1,60 |
| T flujo a 90°                   |                | 0,80 | 1,00 | 1,35 | 2,10 | 2,75 |
| T flujo directo                 |                | 0,21 | 0,26 | 0,35 | 0,45 | 0,52 |
| Válvula de bola                 |                | 0,15 | 0,75 | 0,95 | 1,50 | 2,00 |

**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

**Selección Rápida (IV)**

**Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA:  
«Instalaciones de gas. Aire comprimido»**

**Acumulador**  $V = 60 \cdot Q \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$  [litros]      Q: caudal en l/s

|                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>f'</b>            | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| <b>k<sub>1</sub></b> | 0,19 | 0,36 | 0,56 | 0,64 | 0,75 | 0,84 | 0,91 | 0,96 | 0,99 | 1    |

f' es el factor de carga del compresor, si está entre 0,5 y 1:  $f' = 1-f$

|                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>ΔP</b>            | 2,80 | 2,60 | 2,40 | 2,20 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,20 | 0,80 | 0,60 | 0,40 |
| <b>k<sub>2</sub></b> | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,56 | 0,63 | 0,71 | 0,83 | 1,25 | 1,67 | 2,50 |

ΔP: es la caída de presión admisible entre la salida del compresor y la del acumulador

|                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>z</b>             | 60   | 50   | 40   | 30   | 25   | 20   | 14   | 13   | 11   | 9    | 7    |
| <b>k<sub>3</sub></b> | 0,25 | 0,30 | 0,38 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 1,07 | 1,16 | 1,36 | 1,67 | 2,14 |

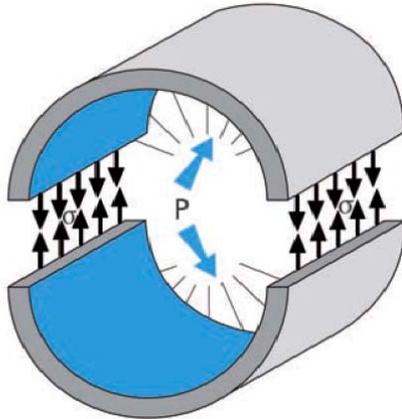
z: es el número de arranques posibles por hora del compresor

**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

**Espesor de la Tubería**

$$e = \frac{P [k_f / \text{cm}^2] \cdot d [\text{mm}]}{2 \cdot \sigma_{\text{admisible}} [k_f / \text{cm}^2]} \quad (\text{mm})$$

$\sigma$  : tensión tangencial en la pared de la tubería  
 $P$  : presión de trabajo  
 $d$  : diámetro exterior (mm)  
 $e$  : espesor (mm)



$$\sigma_{\text{admisible}} = \frac{\sigma_{\text{rotura}}}{\text{Coeficiente de seguridad}}$$