

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

**Departamento:** Ingeniería Eléctrica y Energética  
**Area:** Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO [renedoc@unican.es](mailto:renedoc@unican.es)  
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO [fernandei@unican.es](mailto:fernandei@unican.es)  
JUAN CARCEDO HAYA [juan.carcedo@unican.es](mailto:juan.carcedo@unican.es)  
FELIX ORTIZ FERNANDEZ [felix.ortiz@unican.es](mailto:felix.ortiz@unican.es)

## Introducción a la Neumática y la Hidráulica

### 1.- Neumática Industrial

- 1.1.- Tratamiento de Aire
- 1.2.- **Generación y Distribución de Aire**
- 1.3.- Actuadores Neumáticos
- 1.4.- Válvulas Distribuidoras
- 1.5.- Regulación, Control y Bloqueo
- 1.6.- Detectores de Señal
- 1.7.- Control de Actuadores
- 1.8.- Diseño de Circuitos
- 1.9.- Ciclos de Operación
- 1.10.- Marcha-Paro
- 1.11.- Eficiencia Energética
- 1.12.- Electro-Neumática
- 1.13.- Cilindros Eléctricos

### 2.- Hidráulica Industrial

### 0.- 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 80%  
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

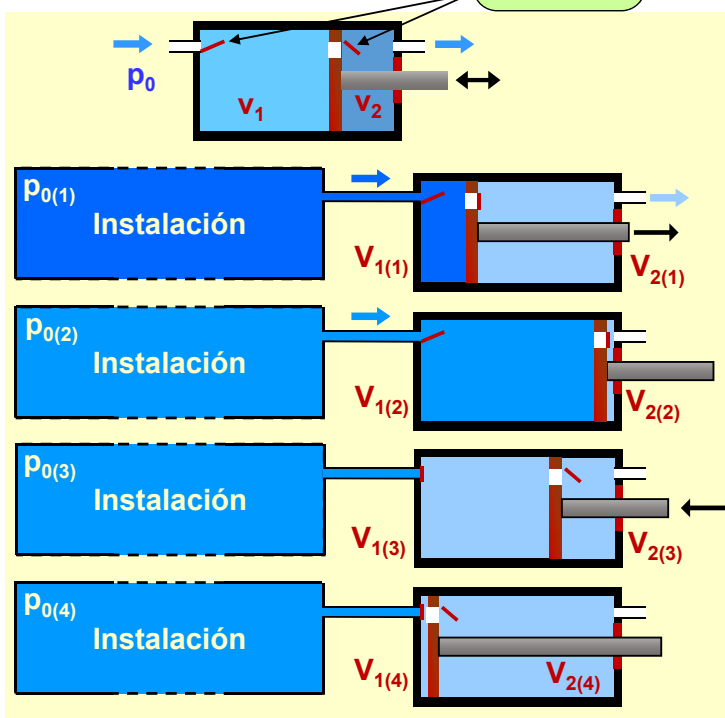
Reducir la presión en una red 1 bar puede aumentar el rendimiento de la misma un 15%

**Compresores**

Ver la Presentación específica de Compresores

**Bombas de Vacío**

Válvulas antiretorno



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 ...

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

n emboladas

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

**En estas fórmulas P es Pabs**

### Acumuladores de Aire (I)

Almacenar el aire (reserva)

Estabilizar las fluctuaciones de presión (ayuda al compresor)

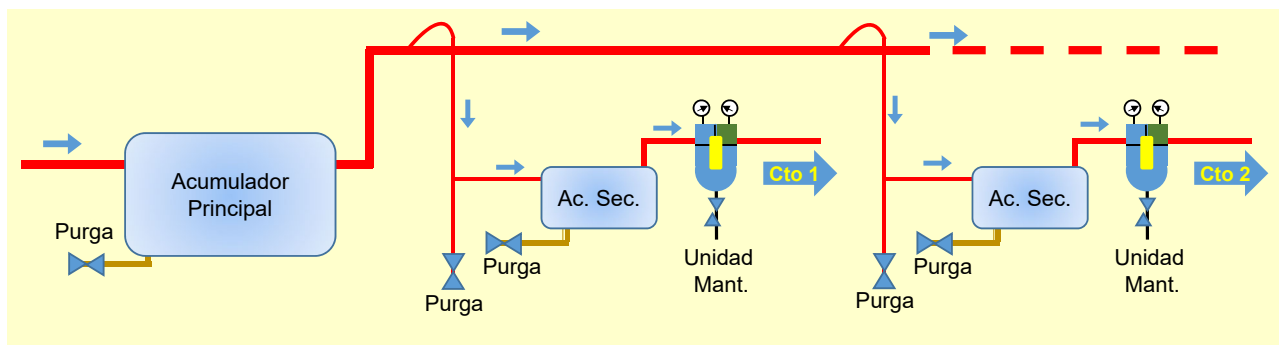
Limita las demandas punta

Ayudan a enfriar el aire

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

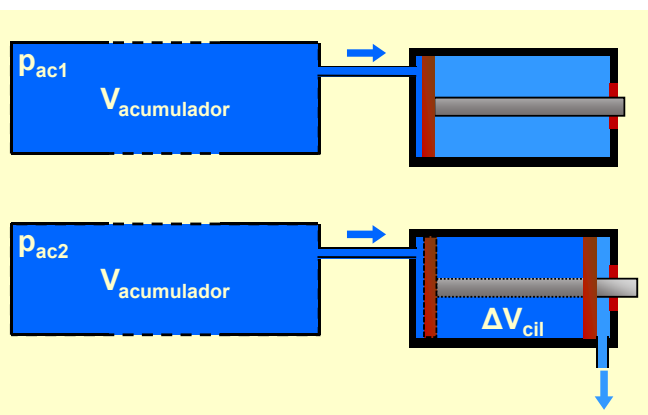
Retienen el agua condensada (toma de purga)

Un acumulador principal, varios secundarios o intermedios



### Acumuladores de Aire (II)

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



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

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

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

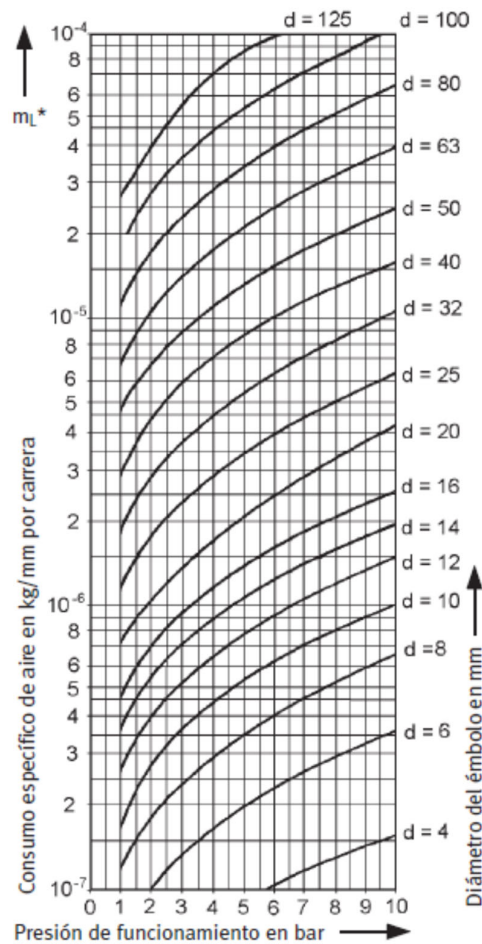
$$V_{ac} = \frac{P_{ac2} \cdot \Delta V_{cil}}{\Delta P}$$

Volumen generoso  $\Rightarrow$  posibles ampliaciones de la red

En esta fórmula  
P es Pabs

**Acumuladores de Aire (III)**

**Consumo de Aire de Cilindros Neumáticos**



**Acumuladores de Aire (IV)**

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

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

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

**Acumuladores de Aire (V)**

Unidad consumidora		Consumo de aire en l/s	Unidad consumidora		Consumo de aire en l/s
Taladradora	0,75 kW	13	Motor neumático	1,4 kW	36
Taladradora	1,0 kW	18	Motor neumático	2,4 kW	60
Taladradora	1,5 kW	27	Motor neumático	3,5 kW	84
Taladradora	2,0 kW	35	Pistola (general)		8
Lijadora	0,75 kW	17	Máquinas elevadoras <500 kg		33
Lijadora	1,0 kW	22	Martillo cincelador		8
Lijadora	1,5 kW	28	Cilindro de avance		16
Destornillador neum.	0,3 kW	5	Destornillador percusor		15 hasta 30
Sierra circular para materiales blandos		22	Pistola de inyección		10
			Cortador de roscas		16



**Acumuladores de Aire (V)**

Unidad consumidora		Consumo de aire en l/s	Unidad consumidora		Consumo de aire en l/s
Taladradora	0,75 kW	13	Motor neumático	1,4 kW	36
Taladradora	1,0 kW	18	Motor neumático	2,4 kW	60
Taladradora	1,5 kW	27	Motor neumático	3,5 kW	84
Taladradora	2,0 kW	35	Pistola (general)		8
Lijadora	0,75 kW	17	Máquinas elevadoras <500 kg		33
Lijadora	1,0 kW	22	Martillo cincelador		8
Lijadora	1,5 kW	28	Cilindro de avance		16
Destornillador neum.	0,3 kW	5	Destornillador percusor		15 hasta 30
Sierra circular para materiales blandos		22			10
					16

Unidad consumidora	Duración de conexión
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Mortero	15%
Moldeadora	20%
Pistola neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%



Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad
1	1
2	0,94
3	0,89
4	0,86
5	0,83
6	0,80
7	0,77
8	0,75
9	0,73
10	0,71
11	0,69
12	0,68
13	0,67
14	0,66
15	0,65
100	0,20

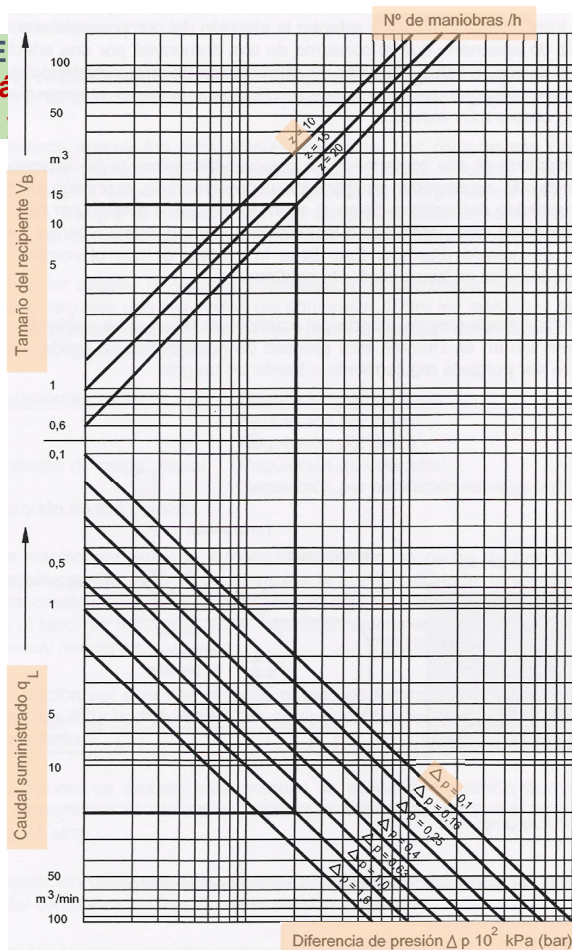
Unidad consumidora	Consumo de aire en l/s	Unidad consumidora	Consumo de aire en l/s
0,75 kW	13	Motor neumático 1,4 kW	36
1,0 kW	18	Motor neumático 2,4 kW	60
1,5 kW	27	Motor neumático 3,5 kW	84
2,0 kW	35	Pistola (general)	8
0,75 kW	17	Máquinas elevadoras <500 kg	33
1,0 kW	22	Martillo cincelador	8
1,5 kW	28	Cilindro de avance	16
0,3 kW	5	Destornillador neumático	15 hasta 30

Unidad consumidora	Duración de conexión
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Mortero	15%
Moldeadora	20%
Pistola neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%



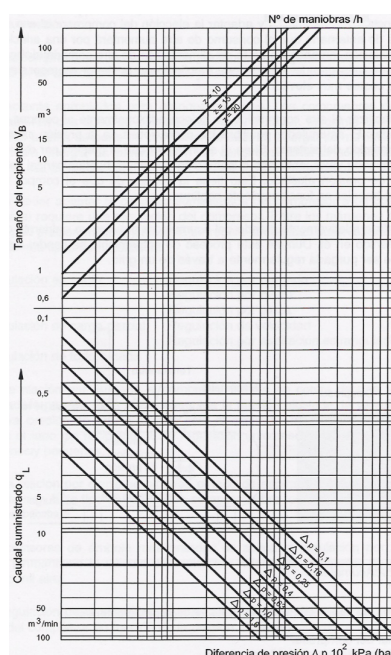
**Acumuladores de Aire (VI)**

**Gráfico de Selección Rápida**



<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica3.htm>

Calcular capacidad del acumulador para un caudal suministrado de 20 m<sup>3</sup>/min con una diferencia de presión 1 bar (100 kPa) y 20 conmutaciones/h



<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica3.htm>

15

**Acumuladores de Aire (VII)**

**Drenaje del Agua**

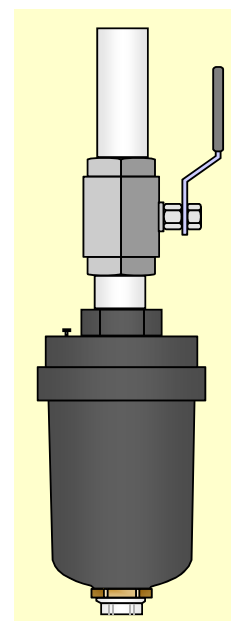
Debe tener un punto de drenaje en el fondo del acumulador para eliminar el agua condensada al enfriarse el aire en su interior

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



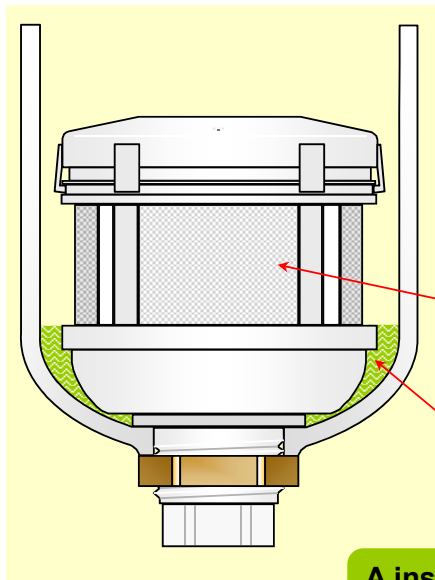
Válvula de drenaje automático en las terminaciones de los ramales

16



**Acumuladores de Aire (VIII)**

**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

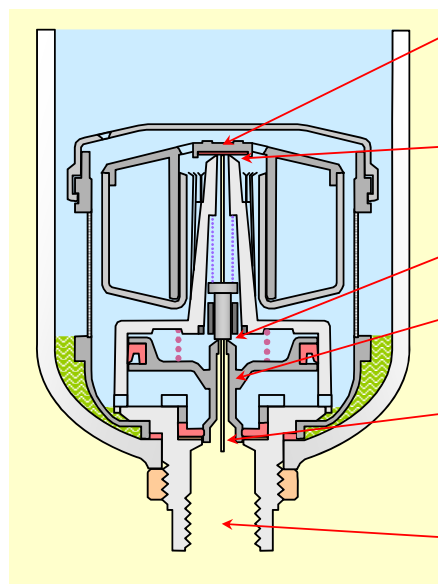
Zona muerta donde las partículas grandes se pueden depositar

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

17

**Acumuladores de Aire (VIII)**

**Válvulas de Drenaje Automático (II)**



Flotador poroso para igualar la presión, internamente ranurado para evitar la rotación

Asiento en la entrada de aire

Asiento en la salida del aire

Pistón y muelle de la válvula de drenaje

Alambre de la válvula de escape, se puede empujar para levantar el flotador

Conexión para tuberías de eliminación de contaminantes

18

**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 m/s** 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)**

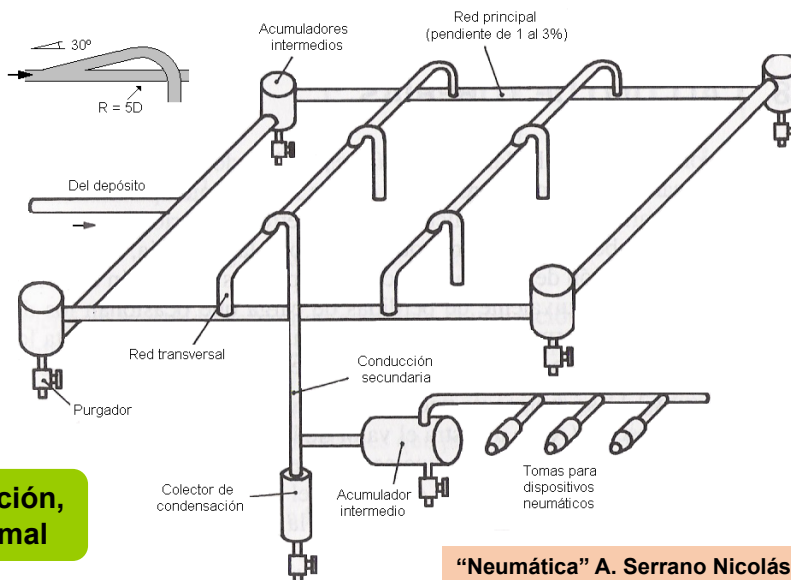
La red puede ser en línea, pero mejor en anillo (tiene menos pérdidas de carga, y facilita ampliaciones y mantenimiento al poder aislar partes)

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)**

<b>Presión máx (bar) para Tuberías de Plástico (T entre -40 y 20°C)</b>										
	<b>Diámetro exterior (mm)</b>									
	4	5	6	8	10	12	14	16	22	28
<b>Polyamida (PA)</b>	28	31	26	19	24	18	15	18	15	15
<b>Poliuretano (PU)</b>	10	11	10	9	9	9				

	<b>Temperatura (°C)</b>				
	30	40	50	60	80
<b>Factor corrector de presión máx</b>	0,83	0,72	0,64	0,57	0,47

**Red de Distribución de Aire (IV)**

<b>Presión máx (bar) para Tuberías de Cobre y Acero (T entre -40 y 50°C)</b>										
	<b>Diámetro exterior (mm)</b>									
	4	5	6	8	10	12	16	22	28	
<b>Cobre recocido</b>	128	138	112	81	64	81	59	53	41	
<b>Cobre blando</b>	193	208	218	157	150	122	89	81	62	
<b>Acero</b>			300	250	195	160				

		<b>Temperatura (°C)</b>			
		100	150	175	200
		<b>Factor corrector de presión máx</b>	<b>Recocido</b>	0,97	0,82
	<b>Blando</b>	0,95	0,88	0,54	0,29

**Red de Distribución de Aire (V)**

Flujo máximo recomendado (l/s)		Presión Bar							
		0,5	1	2	4	6	8	10	12,5
Diámetro (mm)	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 (VI)**

Diámetro (mm)	Colocación de soportes	
	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 (VII)**

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

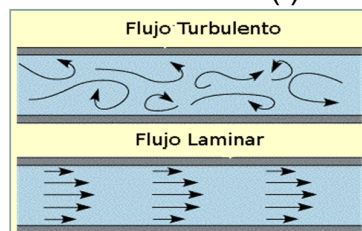
Diámetro Orificio (mm)	Pérdida de aire a 7 bar (l/s)	Potencia perdida del compresor (kW)
0,5	0,2	0,06
1	0,8	0,24
1,5	1,8	0,54
2	3,1	0,93
6	28,2	8,5
10	78,1	23,4

En una instalación funcionando no se escuchan

**Red de Distribución de Aire (VIII)**

**Pérdidas de Carga (I)**

En tuberías (I): 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  $f$



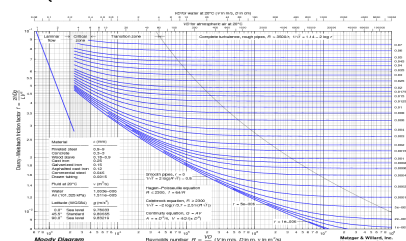
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\rho \cdot D^2} \quad (\text{m})$$

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

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

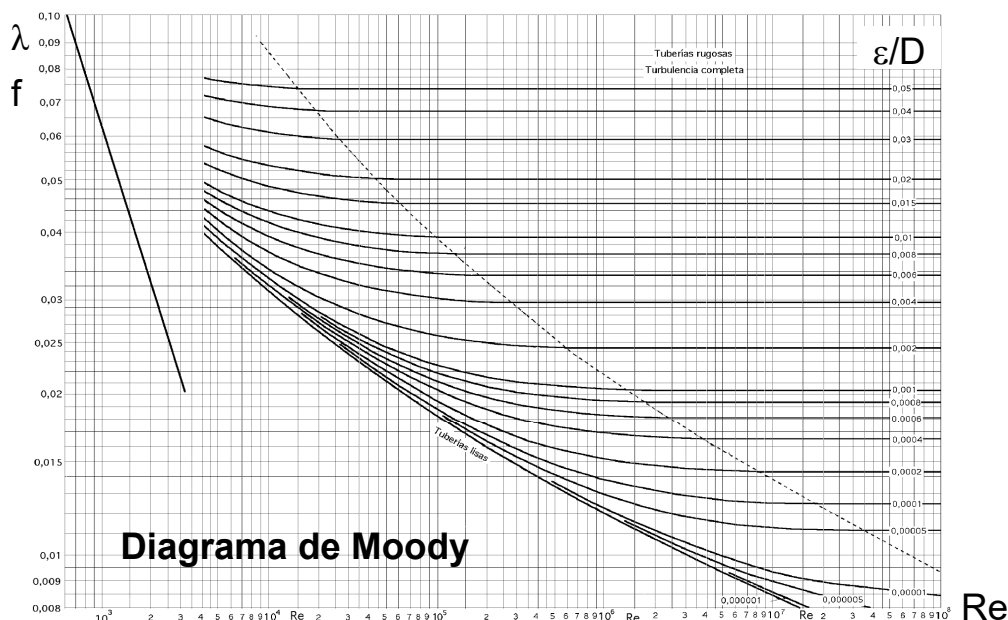
Ecuación Colebrook-white 
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\epsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

Diagrama de Moody



Calcular  $\lambda$  para  $Re = 640$ ,  $Re = 45.000$ ,  $Re = 100.000$

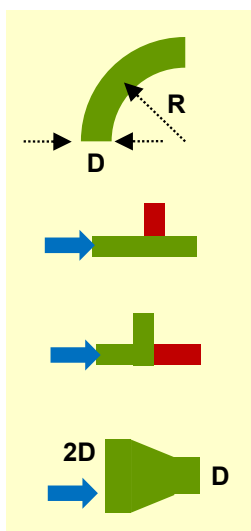
Diámetro tubería 1 cm, rugosidad del acero 0,1 mm



**Red de Distribución de Aire (IX)**

**Pérdidas de Carga (II)**

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 Antirretorno 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



**Tubos de Aire (I)**

**Características (I)**

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre
<b>Ejecución</b>	Negro o cincado	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado	Sin costura o soldado	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos
<b>Material</b>	Por ejemplo, St 35	Sin costura St 00 Soldado St 33	p. ej. W.S.T. 4301, 4541, 4571	Cobre
<b>Dimensiones</b>	10,2 hasta 558,8 mm	1/8 hasta 6 pulgadas	6 hasta 273 mm	6 hasta 22 mm suave 6 hasta 54 mm duro 54 hasta 131 mm duro
<b>Presiones</b>	12,5 hasta 25 bar	10 hasta 80 bar	Hasta 80 bar y en parte presión superior	Según ejecución 16 hasta 140 bar
<b>Extremo del tubo</b>	Liso	Cónico, liso o rosca	Liso	Liso
<b>Uniones</b>	Soldadura	Racores, soldadura	Soldadura (con gas protector)	Roscas, soldadura, racores



**Tubos de Aire (I)**

**Características (I)**

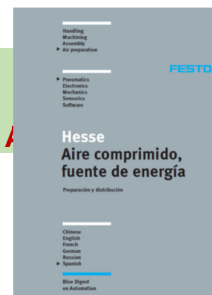
	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
<b>Ejecución</b>	Negro o cincado	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado	Recubierto o pintado	Material blando enrollable hasta 100 metros. Material duro en unidades de hasta 3 metros.
<b>Material</b>	Por ejemplo, St 35	Sin costura St 00 Soldado St 33	Aluminio, p. ej. resistente al agua salada	Poliamida (PA, PUR, PE)
<b>Dimensiones</b>	10,2 hasta 558,8 mm	1/8 hasta 6 pulgadas	12 hasta 40 mm	12 hasta 63 mm
<b>Presiones</b>	12,5 hasta 25 bar	10 hasta 80 bar	14 bar (a -30 °C hasta +30 °C)	14 bar (a -25 °C hasta +30 °C)
<b>Extremo del tubo</b>	Liso	Cónico, liso o rosca	Liso	Liso
<b>Uniones</b>	Soldadura	Racores, soldadura	Racores enchufables reutilizables	Racores enchufables reutilizables



**Tubos de Aire (I)**

**Características (II)**

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre
<b>Ventajas</b>	Uniones estancas; posibilidad de doblar	Disponibilidad de numerosos racores y accesorios; posibilidad de doblar	Uniones estancas, ausencia de corrosión, posibilidad de doblar, para máximas calidades de aire (p. ej. en aplicaciones de técnica médica)	Ausencia de corrosión, paredes interiores lisas, posibilidad de doblar
<b>Desventajas</b>	Corrosión (tubos negros) Montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plástico o de aluminio	Corrosión, en parte también en tubos cincados, grandes resistencias al flujo y resistencias por fricción; fugas después de uso prolongado; montaje difícil debido a la necesidad de cortar roscas y de soldar; montaje por operarios experimentados	Montaje únicamente por operarios experimentados; oferta limitada de racores y accesorios; piezas costosas	Montaje por operarios experimentados y especializados. Posibilidad de formación de calcantita



**Tubos de Aire (I)**

**Características (II)**

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
<b>Ventajas</b>	Uniones estancas; posibilidad de doblar	Disponibilidad de numerosos racores y accesorios; posibilidad de doblar	Resistente a roturas, ausencia de corrosión, pared interior lisa ligero	Ausencia de corrosión, flexible, ligero, resistente a golpes, exento de mantenimiento, instalación sencilla, conexiones sencillas entre tubos flexibles
<b>Desventajas</b>	Corrosión (tubos negros) Montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plástico o de aluminio	Corrosión, en parte también en tubos cincados, grandes resistencias al flujo y resistencias por fricción; fugas después de uso prolongado; montaje difícil debido a la necesidad de cortar roscas y de soldar; montaje por operarios experimentados	Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero	Poca longitud, menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero. Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la presión. Posibilidad de cargas electrostáticas. Gran coeficiente de dilatación térmica (0,2 mm/ °C)



**Tubos de Aire (II)**

- muy adecuado
- suficiente
- con limitaciones



**Comparación de Materiales (I)**

Material del tubo	Acero	Cobre	Acero inox.	Plástico
Presión superior a 12 bar				
Corrosión, calidad del aire				
Temperatura hasta 20 °C				
Temperatura hasta 50 °C				
Características de flujo				
Trabajo de montaje				
Masa por unidad de longitud				
Trabajo de mantenimiento				
Diámetro en 100 metros				
Disponibilidad de válvulas y racores				



**Tubos de Aire (III)**

- CM Conductor
- DUO Tubo doble
- H Resistente a hidrólisis
- N Calibración exterior según CETOP RP54P
- PA Poliamida
- PE Polietileno

- PFA Alcóxido perfluórico
- PU Poliuretano
- PL PVC reforzado con tejido
- S Tubo flexible en espiral
- VO Pirorretardante

- muy adecuado
- suficiente
- con limitaciones
- no apropiado
- no procede

Características técnicas	PU						PE					PVC		PFA		
	PUN	PUN-DUO	PUN-H	PUN-VO	PUN-CM	PU	PU-DUO	PL	PLN	PAN	PAN-L	PAN-VO	PP	PPS	PL	PFAN
Diámetro exterior (a) (Cetop RP 54P)																
Resistencia a sustancias químicas																
Resistencia a microbios																
Resistencia a rayos ultravioleta (b)																
Resistencia a la hidrólisis																
Resistencia a rotura por tensión																

- a) Para racores rápidos roscados (p. ej. Quick Star)
- b) Utilizar versión negra
- c) Para boquillas enchufables



**Tubos de Aire (III)**

**Comparación de Materiales (II)**

CM Conductor  
DUO Tubo doble  
H Resistente a hidrólisis  
N Calibración exterior según CETOP RP54P  
PA Poliamida  
PE Polietileno

PFA Alcóxido perfluórico  
PU Poliuretano  
PL PVC reforzado con tejido  
S Tubo flexible en espiral  
VO Pirorretardante

Características técnicas	PU						PE					PVC		PFA			
	PUN	PUN-DUO	PUN-H	PUN-VO	PUN-CM	PU	PU-DUO	PL	PLN	PAN	PAN-L	PAN-VO	PP	PPS	PL	PFAN	
Protección antiinflamable	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
Homologación para la industria alimentaria	○	○	●	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Antiestático, conductor	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Sin halógeno	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	●	●	○	○	○
Datos para tipos homologados de Festo	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sin sustancias agresivas para la laca	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

a) Para racores rápidos roscados (p. ej. Quick Star)  
b) Utilizar versión negra  
c) Para boquillas enchufables



**Tubos de Aire (III)**

**Comparación de Materiales (II)**

CM Conductor  
DUO Tubo doble  
H Resistente a hidrólisis  
N Calibración exterior según CETOP RP54P  
PA Poliamida  
PE Polietileno

PFA Alcóxido perfluórico  
PU Poliuretano  
PL PVC reforzado con tejido  
S Tubo flexible en espiral  
VO Pirorretardante

Características técnicas	PU						PE					PVC		PFA			
	PUN	PUN-DUO	PUN-H	PUN-VO	PUN-CM	PU	PU-DUO	PL	PLN	PAN	PAN-L	PAN-VO	PP	PPS	PL	PFAN	
Apropiado para cadenas de arrastre	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Recomen. para contacto con agua (no potable)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Resistencia a la abrasión	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Seguridad contra pandeo	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Resistencia a agentes refrig. y detergentes	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Apropiado para vacío	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○

a) Para racores rápidos roscados (p. ej. Quick Star)  
b) Utilizar versión negra  
c) Para boquillas enchufables



**Tubos de Aire (III)**

CM Conductor  
DUO Tubo doble  
H Resistente a hidrólisis  
N Calibración exterior según CETOP RP54P  
PA Poliamida  
PE Polietileno

**Comparación de Materiales (II)**

PFA Alcóxido perfluórico  
PU Poliuretano  
PL PVC reforzado con tejido  
S Tubo flexible en espiral  
VO Pirorretardante

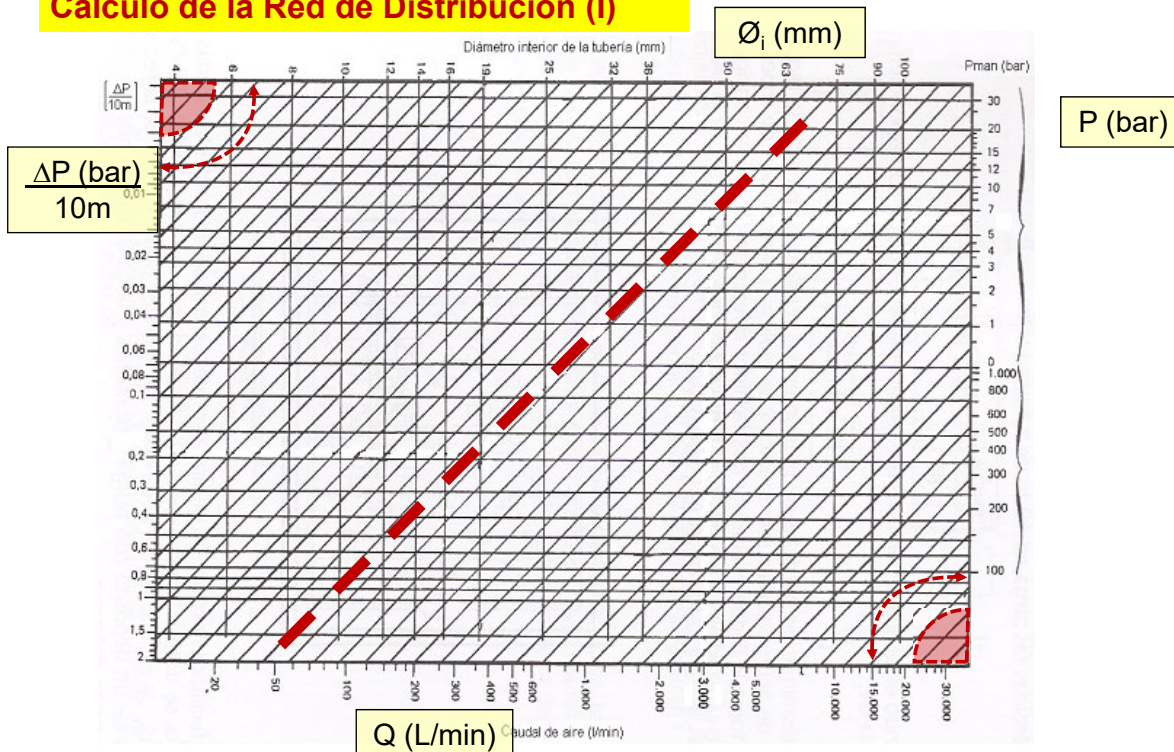
● muy adecuado  
◐ suficiente  
◑ con limitaciones  
○ no apropiado  
— no procede

Características técnicas	PU						PE					PVC		PFA			
	PUN	PUN-DUO	PUN-H	PUN-VO	PUN-CM	PU	PU-DUO	PL	PLN	PAN	PAN-L	PAN-VO	PP	PPS	PL	PAN	
Resist. a gran. esfuerzos térmicos y mecánicos	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Masa reducida	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●
Calibración del diámetro interior (c)	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
Gran flexibilidad a bajas temperaturas	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●
Gran resistencia a altas presiones	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Apropiado para vacío	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐

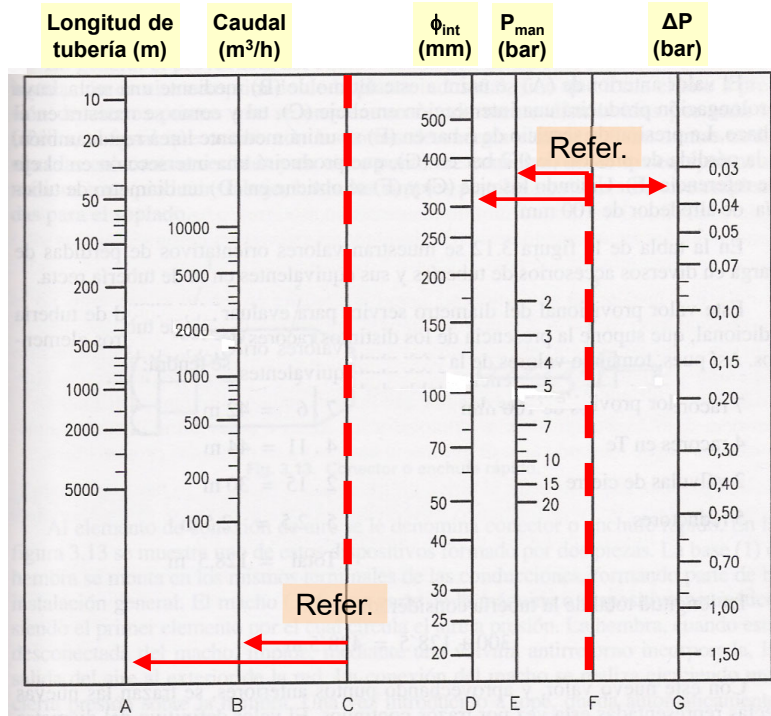
- a) Para racores rápidos roscados (p. ej. Quick Star)
- b) Utilizar versión negra
- c) Para boquillas enchufables



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

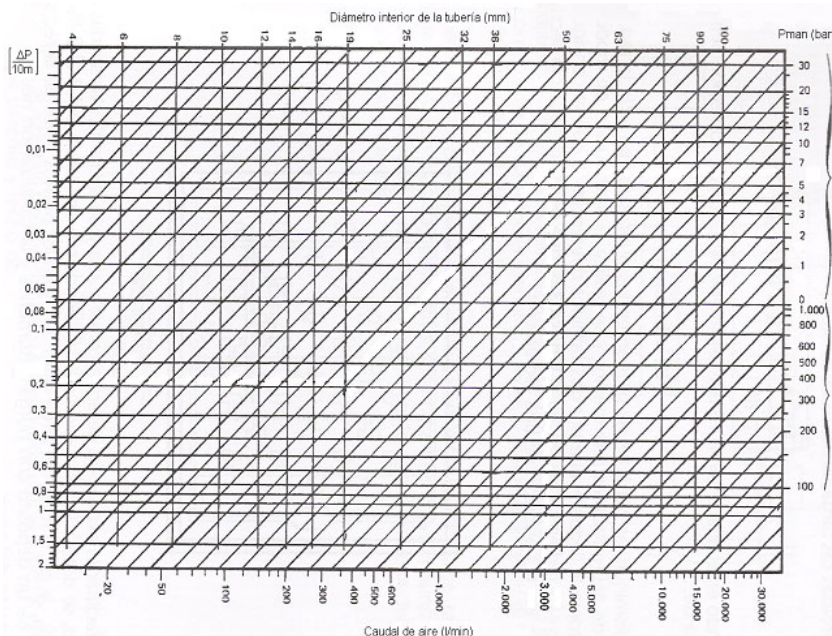


**Cálculo de la Red de Distribución (I)**

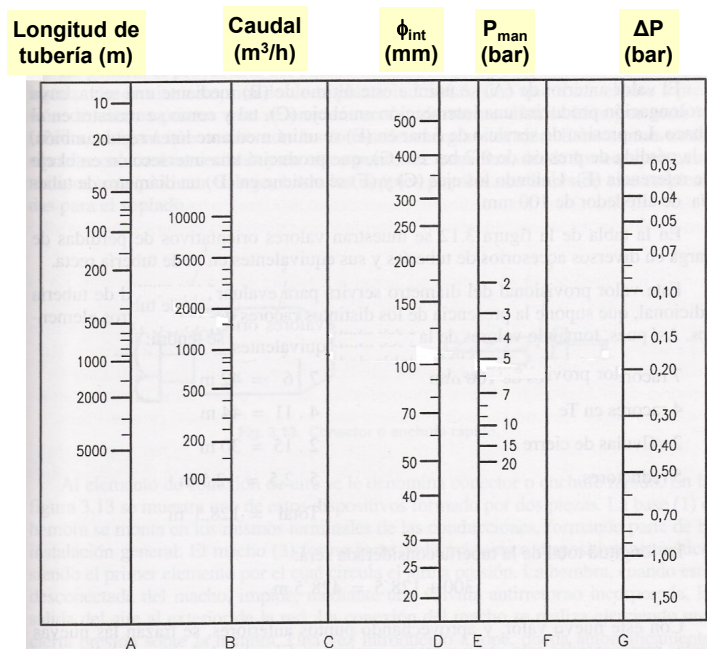


“Neumática”  
A. Serrano Nicolas

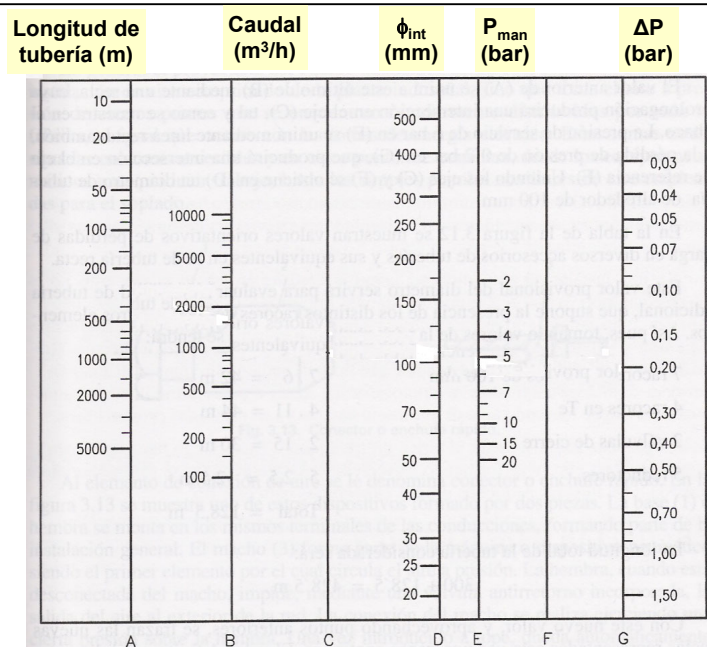
Calcular diámetro de la tubería para un soportar un caudal de 3000 l/min a presión de 6 bar y longitud equivalente 16 m



Calcular diámetro de la tubería para un soportar un caudal de 3000 l/min a presión de 6 bar y longitud equivalente 16 m

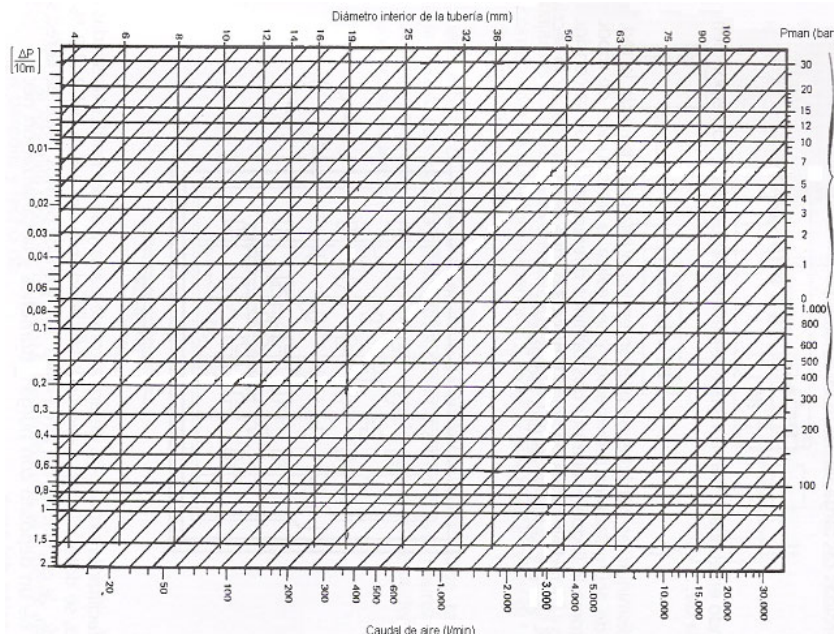


Calcular diámetro de la tubería para un soportar un caudal de 1500 m³/h a presión de 6 bar, longitud equivalente 300 m y una variación de presión admisible 0,2 bar



$Q = 1.500 \text{ m}^3 / \text{h};$   
 $P = 6 \text{ bar};$   
 $\Delta P_{\text{admissible}} = 0,2 \text{ bar}$   
 $Leq = 300 \text{ m}$

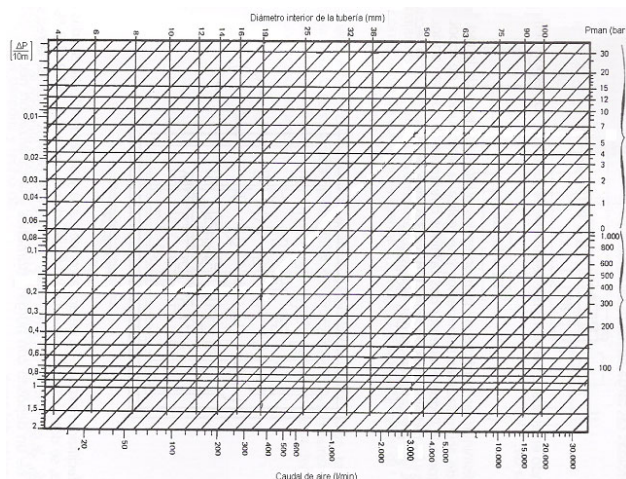
Calcular diámetro de la tubería para un soportar un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/h a presión de 6 bar, longitud equivalente 300 m y una variación de presión admisible 0,2 bar



43

Calcular el diámetro de una tubería de red de 200 m para una presión de trabajo de 7 bar y un consumo de 6 m<sup>3</sup>N/min que dispone de: 4 T de salida recta, 6 codos de R = 2D, 1 válvula de compuerta semi cerrada y 1 tubo reductor

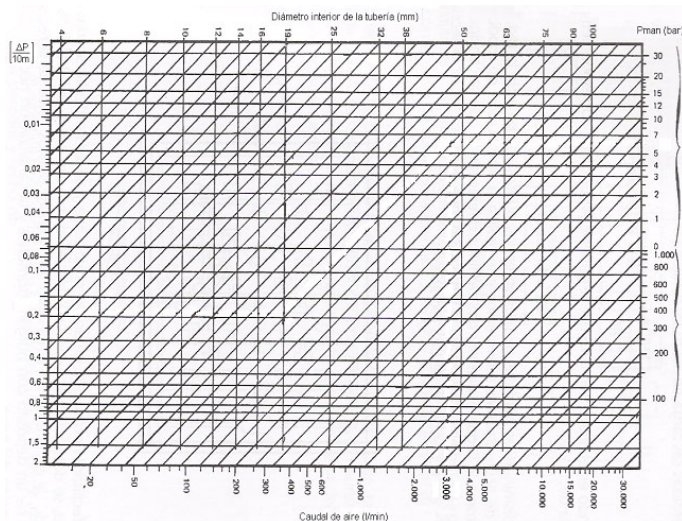
- Incremento del caudal del 150% en 5 años
- Pérdidas por fugas del 30%
- Pérdida de presión admisible 5%



44

Calcular el diámetro de una tubería de red de **20 m** para una presión de trabajo de 7 bar y un consumo de 6 m<sup>3</sup>N/min que dispone de: 4 T de salida recta, 6 codos de R = 2D, 1 válvula de compuerta semi cerrada y 1 tubo reductor

- Incremento del caudal del 150% en 5 años
- Pérdidas por fugas del 30%
- Pérdida de presión admisible 5%

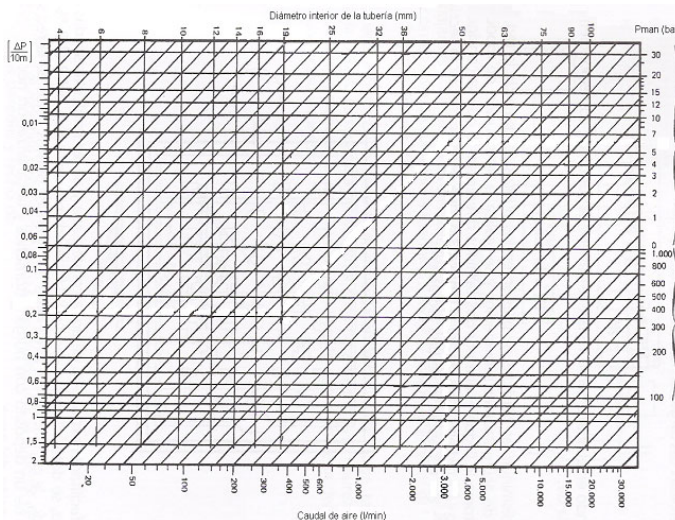


		LONGITUD DE TUBERÍA EQUIVALENTE EN M. Diámetro interior de la tubería en mm.											
		25	40	50	80	100	125	150	200	250	300	400	
Válvula de compuerta	abierta	0,3	0,5	0,6	1	1,3	1,6	1,9	2,6	3,2	3,9	5,2	
	semi cerrada	5	8	10	16	20	25	30	40	50	60	80	
Válvula de diafragma	Totalmente	1,5	2,5	3	4,5	6	8	10	-	-	-	-	
	abierta												
Válvula acodada	Totalmente	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-	
	abierta												
Válvula esférica	Totalmente	7,5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-	
	abierta												
Válvula antirretorno pivotante	Totalmente	2	3,2	4	6,4	8	10	12	16	20	24	32	
	abierta												
Codo curvado R=2d		0,3	0,5	0,6	1	1,2	1,5	1,8	2,4	3	3,6	4,8	
Codo curvado R=d		0,4	0,6	0,8	1,3	1,6	2	2,4	3,2	4	4,8	8,4	
Angulo a 90° 1,5		2,4	3	4,8	6	7,5	9	12	15	18	24		
Te, lado recto 0,5		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	24	
Reductor.		0,5	0,7	1	2	2,5	3,1	3,6	4,8	6	7,2	9,6	

5

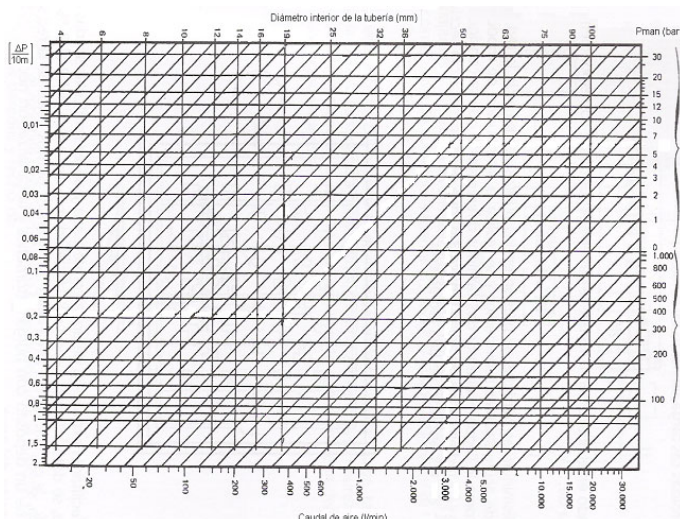
En una empresa hay una instalación de aire de 250 m de longitud, diámetro 50 mm, 30 codos de R = 2D, 10 Ts de salida recta y una válvula de compuerta s.c. Si las pérdidas de carga admisibles son de 0,15 bar y la presión de trabajo de 7, cual sería el caudal máximo de trabajo

		LONGITUD DE TUBERÍA EQUIVALENTE EN M. Diámetro interior de la tubería en 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	
	semi cerrada	5	8	10	16	20	25	30	40	50	60	80	
Válvula de diafragma	Totalmente	1,5	2,5	3	4,5	6	8	10	-	-	-	-	
	abierta												
Válvula acodada	Totalmente	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-	
	abierta												
Válvula esférica	Totalmente	7,5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-	
	abierta												
Válvula antirretorno pivotante	Totalmente	2	3,2	4	6,4	8	10	12	16	20	24	32	
	abierta												
Codo curvado R=2d		0,3	0,5	0,6	1	1,2	1,5	1,8	2,4	3	3,6	4,8	
Codo curvado R=d		0,4	0,6	0,8	1,3	1,6	2	2,4	3,2	4	4,8	8,4	
Angulo a 90° 1,5		2,4	3	4,8	6	7,5	9	12	15	18	24		
Te, lado recto 0,5		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	24	
Reductor.		0,5	0,7	1	2	2,5	3,1	3,6	4,8	6	7,2	9,6	



40

Qué pérdida de presión se produciría en la instalación anterior si el caudal de aire fuera de 20.000 l/min



47

**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)				
		100	200	500	1.000	1.500
Q (l/s)	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

48



**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)				
		100	200	500	1.000	1.500
Q (l/s)	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)				
		< 10	15	22	35	42
Q (l/s)	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

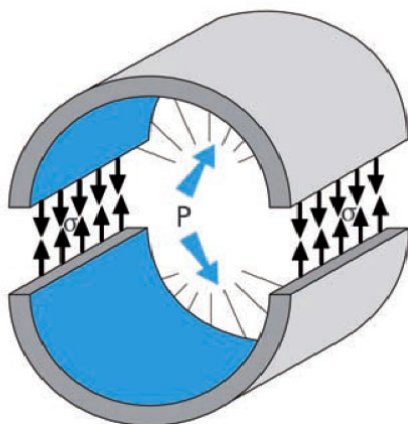
51

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

**Espesor de la Tubería**

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

**σ** : tensión tangencial en la pared de la tubería  
**P** : presión de trabajo  
**d** : diámetro exterior (mm)  
**e** : espesor (mm)



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