



Redes de distribución de aire comprimido y dimensionamiento del compresor

Apellidos, nombre	Castelló Gómez, Marisa (mcasgo@upv.es) Barrera Puigdollers, Cristina (mbarpu@upv.es) Pérez Esteve, Édgar (edpees@upv.es) Betoret Valls, Noelia (noebeval@upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València



1 Resumen

En este artículo docente se explican las **particularidades para realizar un buen diseño de un sistema de aire comprimido**, centrándonos en la configuración de la red de distribución y en el dimensionamiento del compresor o conjunto de compresores. Para ello, se deben de tener en cuenta los siguientes objetivos:

- ✓ Minimizar la pérdida de carga
- ✓ Disminuir las pérdidas o fugas en el sistema
- ✓ Realizar un diseño tal que se facilite el drenaje del agua que se condense en el interior del circuito.
- ✓ Prever las futuras ampliaciones
- ✓ Considerar los coeficientes de uso y de simultaneidad de los equipos para seleccionar adecuadamente el/los compresor/es

2 Introducción

Para poder dimensionar una instalación neumática, es necesario conocer el tipo de equipos que van a consumir aire comprimido y sus necesidades en términos de volumen y de caudal, así como de ubicación en la industria para poder determinar la longitud y el diámetro de las diferentes tuberías que conforman la red, así como de sus equipos (compresores, depósitos acumuladores, secadores, filtros, etc...)

¿Qué etapas se deben seguir en el diseño de las instalaciones de aire comprimido?

1. Identificar los accesorios, herramientas y equipos consumidores de aire comprimido, determinando las condiciones de su consumo, como: caudal de aire y presión de suministro o de trabajo del equipo, máximo nivel de humedad admitido en el aire, de partículas y de contenido de aceite.
- 2.- Realizar un esquema en planta de la ubicación de los equipos con necesidades de aire comprimido según las características arquitectónicas de la industria. De esta forma, podremos seleccionar la configuración de la red que más se adecúa a las características de la nave.
- 3.- Establecer el porcentaje de tiempo de funcionamiento de cada consumidor y el número de consumidores que pueden trabajar de forma simultánea en cada línea de distribución y en la línea principal
- 4.- Estimar las posibles pérdidas por fugas, incorporándolo en el cálculo
- 5.- Realizar el cálculo de la caída de presión máxima para cada punto final de consumo. El mayor valor obtenido será el que condicionará las prestaciones del compresor.
- 6.- Selección de los restantes elementos del sistema (compresor, depósito, equipos de tratamiento, etc.) y diseño final del "piping" de la red.

3 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento, se podrá:

- Establecer qué **configuración de red neumática** es más apropiada en función de las características de la industria
- Calcular el **diámetro** recomendado de la tubería principal y de las acometidas
- Predecir la **pérdida de carga**
- Determinar las necesidades de **caudal del compresor/res**

4 Desarrollo

¿Cómo vamos a abordar este tema?

En una primera parte, nos vamos a centrar en las diferentes configuraciones habituales en las instalaciones de aire comprimido: abierta, cerrada o interconectada. A continuación, veremos cómo calcular el diámetro de las tuberías que transportan el aire comprimido, así como la pérdida de carga asociada tanto a la tubería como a determinados accesorios de la red. Por último, nos centraremos en todos los aspectos que debemos considerar a la hora de seleccionar el/los compresores más adecuados para una instalación neumática.

4.1 Configuración de la red neumática

La **red de distribución** es el conjunto de tuberías que conduce el aire comprimido a todos los elementos del circuito neumático. Esta red parte del depósito y garantiza la presión y la velocidad del aire en todos los puntos (Figura 1).

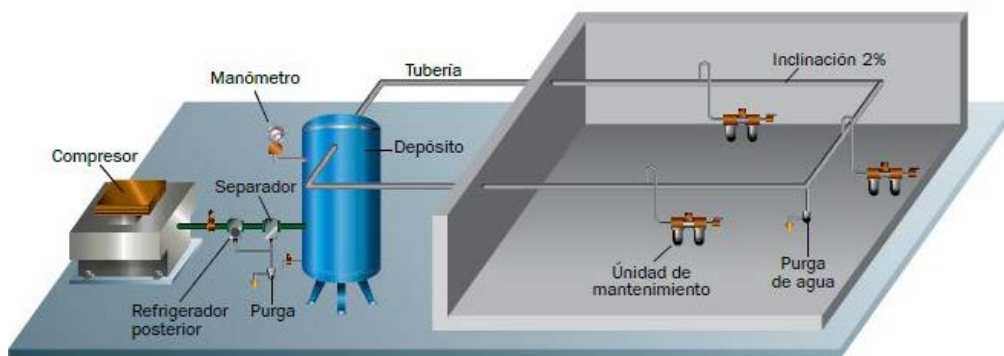


Figura 1. Esquema de la red de distribución de aire comprimido (Demo automatización neumática, (2017))

Debe tener un descenso en el sentido de la corriente del 1 al 2%, para evitar que el agua condensada que pueda haber en la tubería principal llegue a los elementos, colocándose las derivaciones en la parte superior del tubo.

La red de distribución de aire comprimido deberá dimensionarse de tal forma que la caída de presión máxima entre la salida del compresor y el punto de consumo más lejano sea como máximo de 0,1 bar. A esta caída de presión habría que añadirle las pérdidas finales originadas en la manguera flexible de conexión y otros conectores con el instrumento o utensilio que constituye el punto de consumo.

Las tuberías neumáticas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Tuberías o ramales principales:** provienen directamente de la sala de compresores
- **Tuberías de distribución:** parten del ramal principal y se distribuyen por los locales de uso
- **Tuberías de servicios:** son las derivaciones de la tubería de distribución hasta los accesorios de aire comprimido o puntos de consumo finales.

La configuración de esta red de tubería puede ser abierta, cerrada o interconecta. En la Figura 2 se muestran ejemplos y las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. La red abierta se constituye por una sola línea principal de la cual se desprende las líneas secundarias y la de servicio. En la configuración cerrada, la línea principal constituye un anillo, mientras que en la interconectada se incluyen bypass entre las líneas principales.

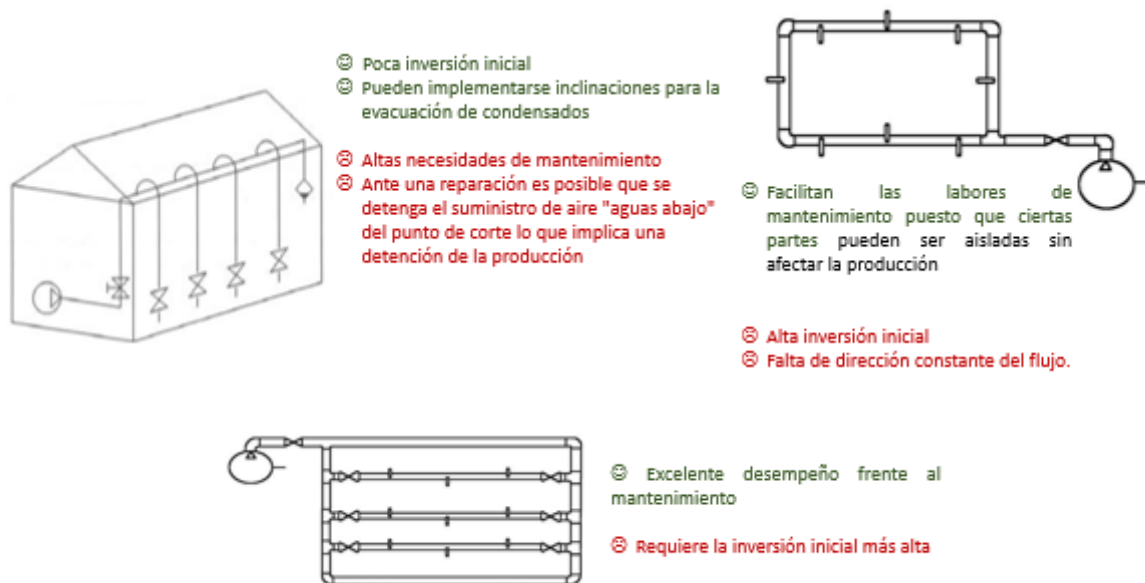


Figura 2. Esquemas de configuraciones de redes neumáticas: A) Abierta, B) Cerrada y C) Interconectada (Adaptación de Paredes y Pérez, 2017))

4.2 Determinación del diámetro de las tuberías

Para poder obtener el diámetro de las tuberías que van a distribuir el aire comprimido en una instalación neumática, hay que seguir los siguientes pasos:

1º) Establecer **las necesidades de presión absoluta de cada máquina** conociendo la presión atmosférica

$$\text{Recuerda: } P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atmosférica}} + P_{\text{manométrica}}$$

2º) Transformar las necesidades de caudal de cada máquina utilizando la presión de la misma y la del depósito acumulador, aplicando la ley de Boyle-Mariotte: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$. Considerando el caudal volumétrico, en lugar del volumen: $P_1 \cdot Q_1 = P_2 \cdot Q_2$

3º) Calcular las **necesidades de caudal totales en las condiciones más desfavorables**, es decir, cuando están todos los equipos en marcha simultáneamente:

$$Q = \sum Q_i \text{ siendo } i \text{ cada uno de los equipos/elementos que requieren aire comprimido}$$

4º) Calcular los **diámetros preliminares** de la tubería principal y de las acometidas sabiendo el rango de velocidad en cada caso y las necesidades de caudal de los equipos a los que suministran el aire comprimido:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Como orientación, se puede considerar que la velocidad en la línea principal es de 6-10 m/s y en las acometidas de 15-20 m/s.

5º) Seleccionar de un catálogo comercial las tuberías que mejor se ajuste a los resultados de diámetros preliminares obtenidos.

4.3 Estimación de las pérdidas de carga

En general, se recomienda que en las instalaciones neumáticas la caída de presión máxima entre la salida del compresor y el punto de consumo más lejano sea como máximo de 0,1 bar. Además, hay que tener presentes las pérdidas finales originadas en la manguera flexible de conexión y otros conectores con el instrumento o utensilio que constituye el punto de consumo.

El cálculo de las pérdidas de carga en una instalación de aire comprimido, se puede abordar con los métodos habituales utilizados en los flujos de líquidos en tuberías: mediante la ecuación de Darcy-Weisbach y calculando el factor de fricción valiéndose del diagrama de Moody o de una de las fórmulas empíricas clásicas (Colebrook, pSAK, etc...). No obstante, en el dimensionamiento de instalaciones de aire comprimido es muy habitual utilizar **nomogramas** proporcionados por los fabricantes de tuberías o de compresores. Los nomogramas son gráficos con rectas regladas que representan una ley matemática. Permiten realizar cálculos aproximados gráficamente de una forma muy rápida (Figura 3 y Figura 4).

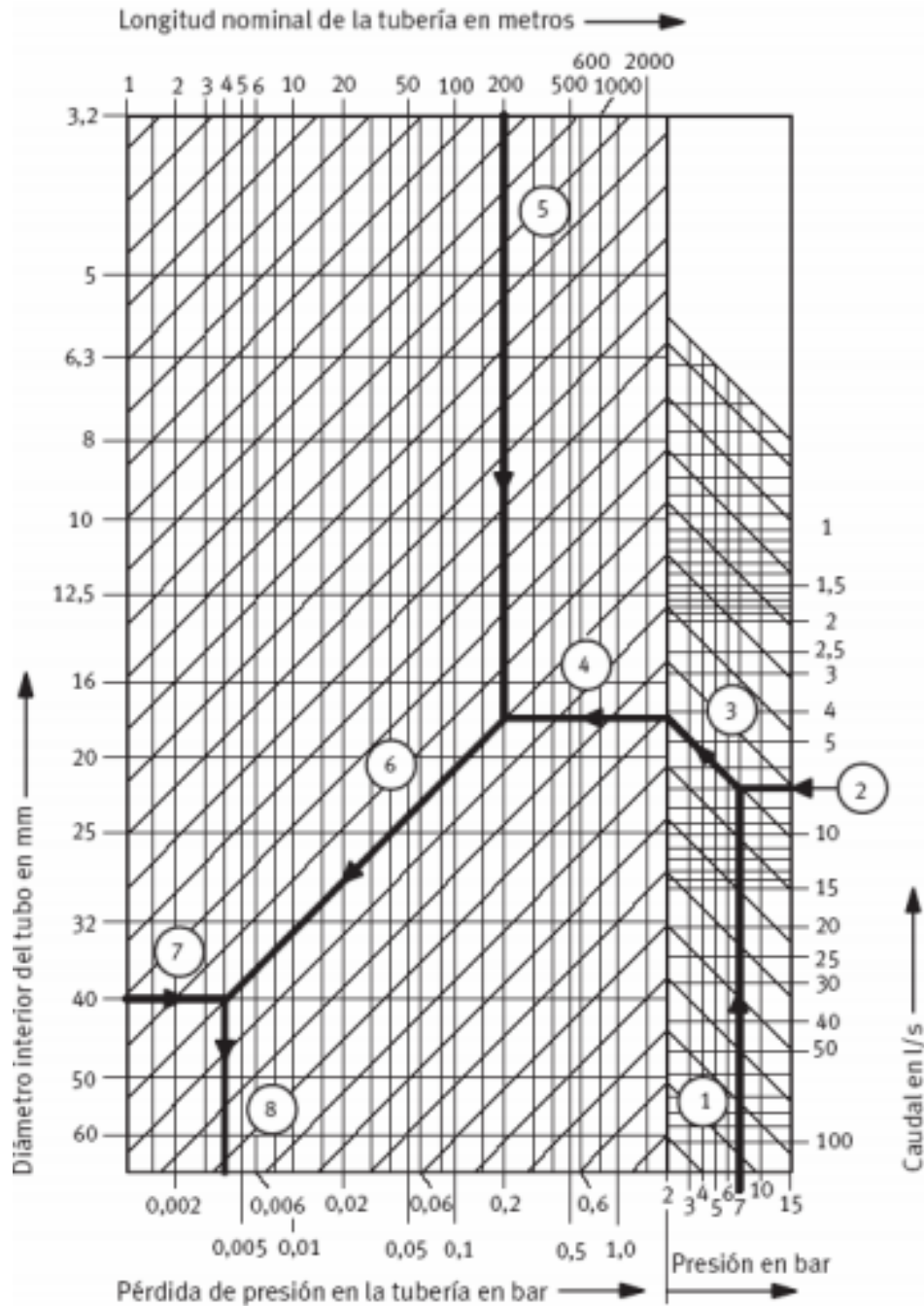


Figura 3. Nomograma que relaciona el diámetro interno de la tubería, el caudal en condiciones normales, la longitud de la tubería y la pérdida de presión en la tubería (Technun, 2017).

El manejo del primer nomograma (Figura 3) que se presenta en este objeto de aprendizaje es el siguiente:



- 1º Se entra en el nomograma realizando una vertical por la presión absoluta en la tubería en la que se quieren calcular las pérdidas de carga hasta cortar la línea horizontal trazada en 2.
- 2º Se traza una horizontal por el valor del caudal en condiciones normales que pasa por la tubería hasta cortar la recta que viene de 1
- 3º Desde la intersección de 1 y 2 se traza una paralela a las líneas oblicuas hasta cortar la línea principal vertical que separa las dos partes del nomograma
- 4º Desde el punto recién obtenido, se traza una horizontal hasta que corte la línea vertical trazada en 5.
- 5º Se traza una línea vertical por el valor de la longitud de la tubería hasta que corta la horizontal que viene de 4.
- 6º Desde la intersección de 4 y 5 se traza una paralela a las líneas oblicuas hasta cortar la línea horizontal trazada en 7 que considera el diámetro del tubo. ¡Importante!, la línea oblicua (recta 6) se puede utilizar de forma ascendente o descendente para lograr cortar con la línea horizontal 7.
- 7º Desde la intersección de las rectas 6 y 7 se traza una línea vertical hasta la escala logarítmica de la parte inferior que indica las pérdidas de carga de la tubería

Por otra parte, la determinación del diámetro interno de una tubería de aire comprimido, puede realizarse con el segundo nomograma (Figura 4) así:

- 1º Se marca la longitud de las tuberías y el caudal en los ejes A y B.
- 2º Se unen ambos puntos con una línea recta, cuya prolongación cortará al eje C en un punto.
- 3º Se marcan en los ejes E y G la presión mínima del sistema y la pérdida máxima de presión deseada. La línea recta entre esos dos puntos corta al eje F.
- 4º Se traza una recta que une los puntos de corte de los ejes C y F que cortará al eje D en el punto que indica el diámetro exigido para las tuberías.

En cualquiera de estos nomogramas conociendo tres de los cuatro parámetros representados, se puede obtener el cuarto, haciendo los oportunos trazados gráficos.

¿Te animas a averiguar cuál es la pérdida de carga de una tubería de 90 mm de sección libre, que trabaja a una presión de 8 bar, un caudal de 17,5 m³/min y una longitud de 300 m utilizando el nomograma de la Figura 4?

Respuesta: Marco longitud de tubería y uno ese punto con el del caudal, cortando al eje C. Desde ese corte, trazo recta que pasa por la sección libre de la tubería cortando al eje F. Desde el eje E, en el que marco la presión del sistema, trazo recta que pasa por el corte al eje F que prolongo hasta cortar al eje G donde leo la **pérdida de presión** que es de **0,1 bar**.

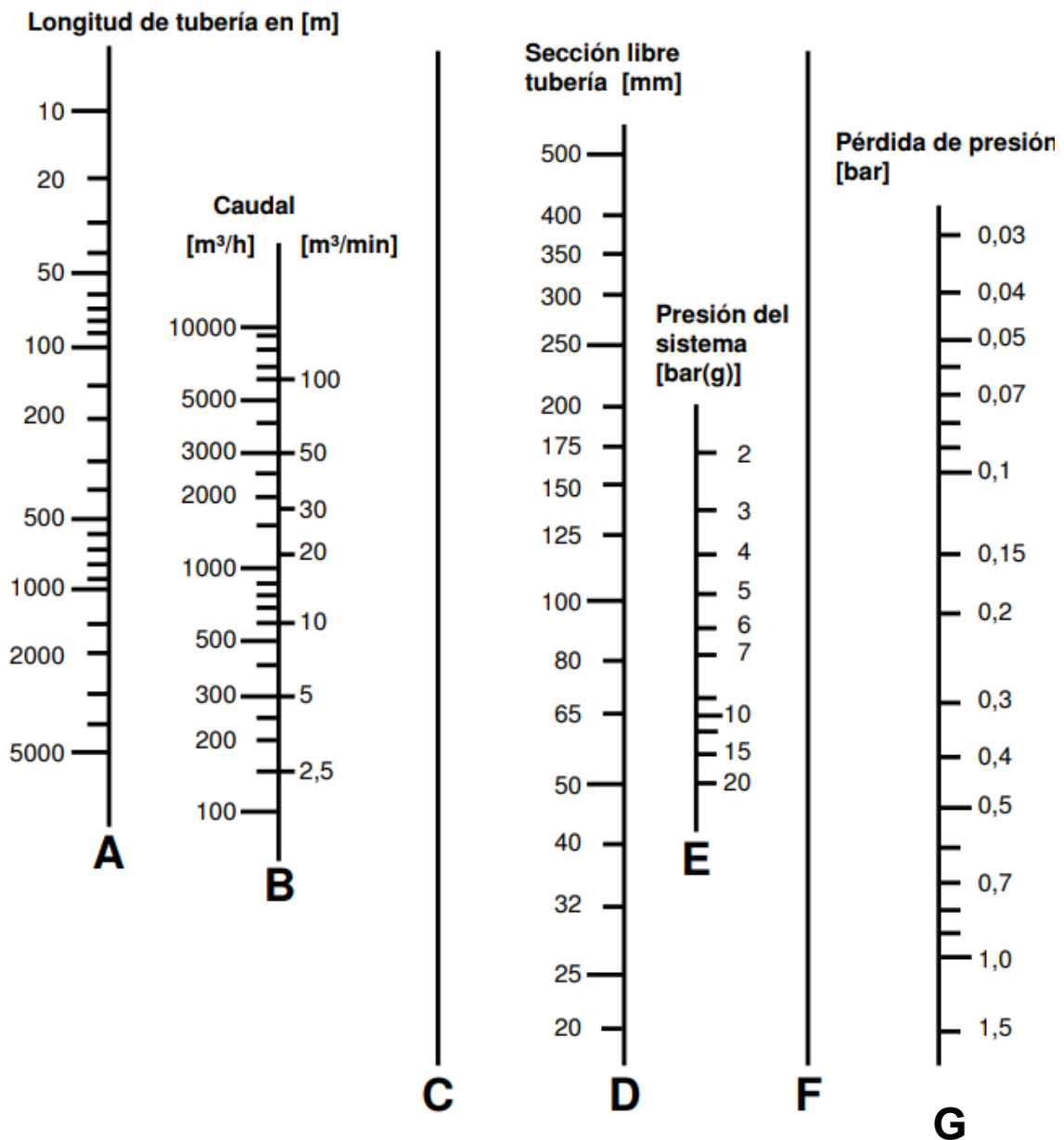


Figura 4. Nomograma que relaciona la longitud de la tubería, el caudal, la sección libre de la tubería, la presión del sistema y la pérdida de presión (Kaeser Compresores, 2017).

Por otra parte, para calcular la pérdida de carga en otras situaciones (codos, derivaciones en T, bifurcaciones, reducciones, válvulas...), se sustituye cada accesorio de estos por unas longitudes de tubería equivalente, para posteriormente calcular su pérdida de carga como si se tratara de tramos rectos de tubería. En la Figura 5 se detallan los valores de estas longitudes según el componente considerado.












Longitud equivalente de tubería en metros											
Componentes	Diámetro interior de tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola abierta 100% 	0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válv. diafragma abierta 100% 	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válv. angular abierta 100% 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R=2d 	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R=d 	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90° 	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T, salida en línea 	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T, salida angular 	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	16	18	24
Reductor 	0.5	0.7	1.0	2.0	2.6	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Figura 5. Longitud equivalente de tubería en metros en función del componente considerado de la instalación de aire comprimido (Rodríguez-Galbarro, 2017).

4.4 Selección del compresor o compresores

Para seleccionar un compresor adecuado para la instalación, se debe contemplar la hipótesis de consumos que se considere que va a ser la más habitual. El depósito de regulación que se dimensionará más tarde, permitirá dar respuesta a los picos puntuales de consumo que se puedan producir. Para ello, vamos a considerar los siguientes coeficientes:

- **Coefficiente de uso (C_u):** Fracción del tiempo total de funcionamiento en el que la máquina consume aire comprimido
- **Coefficiente de simultaneidad (C_s):** Considera el hecho de que generalmente todas las máquinas de una instalación neumática no funcionen a la vez. Los



manuales suelen proporcionar valores de este coeficiente en función del número de máquinas que alimenta la instalación

- **Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA}):** Normalmente, se suele prever que el consumo pueda aumentar en un determinado porcentaje en el futuro al añadir nuevas máquinas a la instalación. Si fuera este porcentaje del 30%, C_{MA} sería 1,3.
- **Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF}):** Las fugas de aire son inherentes a toda instalación neumática y se puede estimar que si como dato orientativo, si el montaje de la instalación lo realiza personal cualificado y con material de calidad, C_{MF} sería de 1,05
- **Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{CC}):** Es el cociente entre la duración total del ciclo de funcionamiento (tiempo entre arranques) y el tiempo en el que el compresor produce aire comprimido (tiempo del compresor funcionando).

De esta forma, el consumo habitual de la instalación en condiciones normales de presión se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{Compresor} = C_s \cdot C_{MF} \cdot C_{MA} \cdot C_{CC} \sum_{i=1}^n Q_{Esp_i} \cdot C_{Ui}$$

Donde:

Q_{Esp} : Es el consumo específico de caudal de cada máquina en CN

C_s : Es el coeficiente de simultaneidad

C_{Ui} : Es el coeficiente de uso de cada máquina

Una vez concretadas las necesidades de aire comprimido es muy importante considerar el número de compresores a instalar.

¿Se debe elegir un compresor grande o varios pequeños?

Aunque los compresores son máquinas simples y robustas, requieren conservación y puede ser necesario retirarlas del servicio para repararlas. Por este motivo, en instalaciones grandes, se recomienda disponer de compresores de reserva para asegurar un trabajo continuado y poder alternar periódicamente los grupos instalados con el consiguiente beneficio para los mismos.

Una solución puede ser instalar tres máquinas de igual capacidad y que cada una de ellas sea capaz de suministrar la mitad de las necesidades totales de aire de la instalación neumática. Dos compresores estarán normalmente en funcionamiento, mientras que el otro permanecerá en reserva, teniendo un conjunto que podamos razonar como "2+1" (Carnicer, 1991).



5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto qué configuraciones de red se pueden llevar a cabo en una instalación de aire comprimido. Por otra parte, también se ha abordado cómo realizar el cálculo del diámetro preliminar de los diferentes tipos de tuberías neumáticas, así como la estimación de la pérdida de carga de la instalación. Por último, se ha detallado cómo seleccionar el o los compresores en función de las necesidades de caudal de aire comprimido. Ahora, ¡ya puedes diseñar una instalación neumática!

6 Bibliografía

[1] Carnicer, E. (1991). Aire comprimido. Editorial Paraninfo.

[2] Demo automatización neumática, (2017). Mc Graw Hill Education. <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?editar=0&idcurso=1186409&idclase=66248629&modo=0>

[3] Kaeser Compresores, (2017). Nomograma para calcular el diámetro interno exigido en una tubería <http://mx.kaeser.com/m/Images/P-2010-MX-tcm325-6752.pdf>

[4] Paredes, J.J., Pérez, J. (2017). Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica. <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[5] Rodríguez-Galbarro, H. (2017). Diseño de sistemas de aire comprimido. Tutorial nº 201. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>.

[6] Technun, 2017. Laboratorio de Neumática y Oleohidráulica. Práctica 3. Universidad de Navarra. http://www4.tecnun.es/asignaturas/neumatica/Practica%20Neumatica_Sol.pdf