
	<i>Proyecto Básico de Ejecución de la Edificación y Nuevas Instalaciones de REPUESTALIA S.L.</i>	<i>Autor: Antonio García López</i>	
	<i>E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla.</i>	<i>Dpto. Ingeniería del Diseño</i> <i>Tutor: Emilio Romero Rueda</i>	

## 9. Anexo de cálculos de la Instalación de Aire Comprimido.

### 9.1. Generalidades.

En el presente capítulo se expone el procedimiento de cálculo y los resultados obtenidos en el diseño de la instalación de Aire Comprimido

El diseño de dicha instalación se realiza de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento de equipos a presión y en sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias. Además de tener en cuenta la norma ISO 8573.1 en cuanto a la calidad del aire se refiere.

### 9.2. Diseño y dimensionado.

Dentro del objetivo general de diseño y cálculo de la instalación de aire comprimido para la nueva planta de REPUESTALIA S.L., se engloba la obtención de los siguientes objetivos específicos:

- Calcular el flujo necesario de aire comprimido que permita garantizar un óptimo funcionamiento de los diferentes elementos de los cuales está compuesta nuestra instalación.
- Calcular la red de aire comprimido.
- Dimensionar el compresor para el suministro de aire comprimido.
- Dimensionar del tanque de aire comprimido.
- Calcular la unidad de mantenimiento y equipos necesarios que garanticen un aire comprimido limpio, seco y lubricado.
- Diseñar el sistema eléctrico de alimentación al equipo generador de aire comprimido y de control.

#### 9.2.1. Cálculo del flujo de aire necesario.

De acuerdo a las necesidades de nuestra planta y como puede observarse en el plano Instalación de Aire Comprimido, tenemos un total de 8 puntos de consumo repartidos a lo largo del perímetro del taller.

El uso común de las tomas será para tareas ejecutadas con herramientas tales como herramientas de impulso, pistolas de limpieza, etc.

Nuestra red, aunque se trate de una red cerrada, tiene una tipología sencilla, así que el cálculo del flujo total de aire lo realizaremos bajo el siguiente criterio:

- Elegimos la herramienta de máximo consumo de aire para la base de cálculo de suministro en cada toma. En nuestro caso se trata de una herramienta de impulso que consume aproximadamente 150 l/min.
- Elegimos un coeficiente de simultaneidad adecuado para el uso de herramientas al mismo tiempo. En nuestro caso particular, de acuerdo a la actividad industrial llevada a cabo en los talleres, concluimos que un coeficiente de 2 sería bastante acertado.
- El caudal total a aportar se obtiene como resultado del producto entre el coeficiente de simultaneidad por el consumo de la herramienta tomada como base de cálculos.

	<i>Proyecto Básico de Ejecución de la Edificación y Nuevas Instalaciones de REPUESTALIA S.L.</i>	<i>Autor: Antonio García López</i>	
	<i>E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla.</i>	<i>Dpto. Ingeniería del Diseño</i> <i>Tutor: Emilio Romero Rueda</i>	

- Es recomendable sobredimensionar la canalización principal de la red en un 300% del flujo nominal, ya que el agravamiento económico originado por una posible ampliación posterior a la instalación inicial, es mucho más elevado que el coste adicional del sobredimensionamiento preventivo.

En definitiva el flujo de aire tomado para el diseño de la red es:

$$F_N(l/s) = 2 \times 150 = 300 \text{ l/min (flujo no minimal)}$$

$$F_{\text{ampl}}(l/s) = 2 \times 150 \times 3 = 900 \text{ l/min (flujo prevención de ampliaciones)}$$

### 9.2.2. Trazado de la instalación.

En el plano Instalación de Aire Comprimido se expone gráficamente las distintas canalizaciones, puntos de suministro, localización del compresor, trayectorias de las tuberías, etc. Los valores alcanzados en apartados posteriores han sido calculados de acuerdo a la tipología y geometría de la red ilustrada en dicho plano.

### 9.2.3. Dimensionado de las canalizaciones.

En una red de aire comprimido se pueden considerar tres tipos de tuberías:



- Tubería principal, o colector general.
- Tuberías secundarias.
- Tuberías de servicio.

*La tubería principal* es la que sale desde el compresor y canaliza la totalidad del caudal de aire. Deben tener el mayor diámetro posible. Se deben dimensionar de tal manera que permita una ampliación del 300 % del caudal de aire nominal. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, no debe sobrepasar los 8 m/s.

*Las tuberías secundarias* toman el aire de la tubería principal ramificándose por las zonas de trabajo, de ellas salen las tuberías de servicio. El caudal que pasa por éstas es igual a la suma del caudal de todos los puntos de consumo que alimentan. La velocidad máxima del aire que pasa por dichas tuberías no debe sobrepasar los 8 m/s.

*Las tuberías de servicio* son las que alimentan los equipos neumáticos. Llevan acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire y los grupos filtro - regulador - lubricador en cada punto de consumo. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, no debe sobrepasar los 15 m/s.

Se han de evitar tuberías de diámetro inferior a ½" (12.7 mm), ya que diámetros pequeños originan importantes pérdidas de carga. La pérdida de presión máxima permisible, en el sistema de tuberías, no puede pasar de un 2% de la presión del compresor, así si trabajamos con 7 bares, la máxima caída permisible, será de 0,14 bar, ya que si a esta caída de presión sumamos las de los demás elementos del circuito, la presión en el punto de trabajo, puede ser mucho más baja que la idónea para el circuito neumático. Es práctica habitual permitir que el 10% de la presión a la cual trabaje el sistema se emplee en hacer frente a las pérdidas totales (el resto es la energía que se descargará en los orificios de trabajo). Así, para un sistema que trabaje a 7 bares, es normal fijar un valor de pérdidas máximo de 0.7 bar a lo largo de las conducciones.

	<i>Proyecto Básico de Ejecución de la Edificación y Nuevas Instalaciones de REPUESTALIA S.L.</i>	<i>Autor: Antonio García López</i>	
	<i>E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla.</i>	<i>Dpto. Ingeniería del Diseño</i> <i>Tutor: Emilio Romero Rueda</i>	

Otro criterio que se emplea es el de fijar un máximo de 6 a 10 m/s de velocidad de aire comprimido por las tuberías.

Se efectuará un predimensionado de las canalizaciones y se comprobará que en ningún caso se superan los valores de velocidad y caída de presión recomendados, para ello en primer lugar es necesario determinar las bases de cálculo, que deben ser las siguientes:

#### **9.2.3.1. Presión de suministro.**

Los elementos neumáticos deben trabajar con una presión (normalizada) de 6 bares. Los compresores utilizados para sistemas neumáticos dan una presión de utilización de 7 bares, para compensar las pérdidas de carga en la instalación.

#### **9.2.3.2. Longitud y Caudal de aire en cada tramo y en cada boca de salida.**

De acuerdo a la tipología y a la geometría de nuestra red, los caudales en cada tramo y en cada boca de salida son los siguientes:

<b>Conducto</b>	<b>Longitud(m)</b>	<b>Caudal (l/min)</b>
<i>Canalización Principal</i>	3	300
<i>Canalización Secundaria Derecha</i>	42,8	150
<i>Canalización Secundaria Izquierda</i>	38,4	150
<i>Canalizaciones de Servicios</i>	6,3 (todas iguales)	37,5 (todas iguales)
<i>Bocas de Salida</i>		37,5 (todas iguales)

#### **9.2.3.3. Pérdida de carga máxima admisible en la instalación.**

Dada la configuración de nuestra red, cerrada pero de geometría sencilla, las canalizaciones de servicio partirán directamente de la canalización principal, es decir, la canalización principal y secundaria se fusionan en una sola que alimentará las distintas derivaciones. En este sentido, en previsión de una futura ampliación, tomaremos los siguientes datos de diseño:

<b>Conducto</b>	<b>Longitud(m)</b>	<b>Caudal (l/min)</b>
<i>Canalización Principal</i>	42,8+38,4+3=84.2	300 (*)
<i>Canalizaciones de Servicios</i>	6,3 (todas iguales)	37,5 (todas iguales)
<i>Bocas de Salida</i>		37,5 (todas iguales)
(*) Previsión de una ampliación del 300%		

Las pérdidas de carga producidas en los diferentes elementos de conexión y accesorios las contabilizaremos en forma de longitud equivalente según la siguiente tabla:

<b>Longitud equivalente de elementos de conexión y accesorios (m)</b>										
<b>Tipo de accesorio</b>	<b>Diámetro nominal tuberías</b>									
	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>
Codo	0,26	0,37	0,49	0,67	0,76	1,07	1,37	1,83	2,44	3,2
Curva 90°	0,15	0,18	0,24	0,38	0,46	0,61	0,76	0,91	1,2	1,52
Curva 180°	0,46	0,61	0,76	1,07	1,2	1,68	1,98	2,6	3,66	4,88
Válvula de esfera	0,76	1,07	1,37	1,98	2,44	3,36	3,96	5,18	7,32	9,45
Válvula de compuerta	0,107	0,14	0,18	0,27	0,32	0,4	0,49	0,64	0,91	1,2
T estándar paso recto	0,12	0,18	0,24	0,38	0,4	0,52	0,67	0,85	1,2	1,52
T estándar paso angular	0,52	0,7	0,91	1,37	1,58	2,14	2,74	3,56	4,88	6,4

De acuerdo a criterios de mantenimiento nuestra instalación incorpora válvulas en cada tramo de la canalización principal (con ello conseguimos continuidad en la alimentación de aire para todas las tomas incluso cuando se realicen tareas de reparación en alguna de ellas) y en cada punto de consumo. Además existen cuatro codos a 90° (uno en cada esquina), 9 T's de paso recto (1 que bifurca la canalización principal tras ascender desde el compresor y 8 para las canalizaciones de servicio) y 12 elementos de unión entre conductos (longitud equivalente para pérdida de carga de 0.36 m).

Como ya hemos comentado con anterioridad, la caída máxima de presión en las tuberías debe ser menor de un 2% de la presión del compresor, es decir, 0.14 bar, en nuestro caso particular (7 bares de presión de alimentación en el compresor). Con este valor y haciendo uso de un modelo matemático basado en la Fórmula de Renouard podemos obtener un primer dimensionado para los diámetros de las tuberías:

$$P_a - P_b = \frac{C_{Rc} \cdot \rho_r \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{2 \cdot P_n \cdot D^{4.82}}$$

$P_a$  y  $P_b$  son las presiones absolutas en el origen y en el extremo (bar)

$C_{Rc}$  es el coeficiente de Renouard cuadrático (igual a 48,60)

$\rho_r$  es la densidad relativa del gas

$Q$  es el caudal en Nm<sup>3</sup>/h

$D$  es el diámetro interior de la conducción en m/s

$P_n$  es la presión nominal en bar

Particularizando valores y despejando el valor del diámetro tenemos:

$$D = \left( \frac{C_{Rc} \cdot \rho_r \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{2 \cdot P_n \cdot \Delta P} \right)^{\frac{1}{4.82}} = \left( \frac{3.47 \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{\Delta P} \right)^{0.21}$$

- En el caso de la canalización principal tenemos para los puntos A y B indicados, asumiendo la máxima caída de presión de 0.14 bares, una longitud de 50 m y un caudal de 54 Nm<sup>3</sup>/h, el siguiente diámetro :

$$D = \left( \frac{3.47 \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{\Delta P} \right)^{0.21} = \left( \frac{3.47 \cdot 50 \cdot 54^{1.82}}{0.14} \right)^{0.21} = 20.50 \text{ mm}$$

- Para el caso de las canalizaciones de servicio tendremos condiciones iguales en todas ellas, a saber, caída de presión  $\Delta P_i = 0.14/4 = 0.035$  bares, una longitud de 6.3 m y un caudal de 2.25 Nm<sup>3</sup>/h, lo que supone un diámetro de:

$$D = \left( \frac{3.47 \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{\Delta P} \right)^{0.21} = \left( \frac{3.47 \cdot 6.3 \cdot 2.25^{1.82}}{0.035} \right)^{0.21} = 5.27 \text{ mm}$$

Una vez obtenidos los diámetros del dimensionado previo, introducimos las pérdidas de carga producidas en cada elemento de conexión y accesorios en forma de longitud equivalente, haciendo uso de la tabla expuesta más arriba:

- Canalización principal. Tenemos 5 T's de paso recto, 2 codos de 90°, 7 válvulas de esfera y 7 elementos de conexión entre tuberías. Con todo se tiene una longitud equivalente de:

$$D = 20.5 \text{ mm} \Rightarrow D = 25 \text{ mm (medida estándar)}$$

$$L_{equ} = 50 + 5 \times 0.67 + 2 \times 0.76 + 7 \times 3.96 + 7 \times 0.36 = 85.11 \text{ m}$$

- Canalizaciones de servicio. Tenemos 1 T de paso recto, 1 válvula de esfera, 1 elemento de conexión de tuberías y una unidad de mantenimiento (filtro, regulador de presión y lubricación) cuya pérdida de carga modelaremos por 8.2 metros de longitud equivalente. En total tenemos:

$$D = 5.27 \text{ mm} \Rightarrow D = 16 \text{ mm (medida estándar mayor de } \frac{1}{2} \text{")}$$

$$L_{equ} = 6.3 + 1 \times 0.18 + 1 \times 1.07 + 1 \times 3.96 + 1 \times 8.2 = 16.11 \text{ m}$$

Con estas nuevas longitudes equivalentes y con los diámetros obtenidos en el predimensionamiento, comprobamos si se cumplen los criterios de máxima caída de presión y máxima velocidad en las conducciones:

$$\Delta P = \frac{C_{Rc} \cdot \rho_r \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{2 \cdot P_n \cdot D^{4.82}}$$

$$v = \frac{354 \cdot Q \cdot Z}{P_n \cdot D^2} \quad \text{con } Z \approx 1 \text{ para el aire}$$

La máxima caída de presión admitida en las conducciones es el 10% de la presión nominal, es decir,  $0.10 \times P_n = 0.7$  bares. Esta caída de presión es la suma de la caída de presión en la canalización principal y de todas las canalizaciones de servicio.

- Canalizaciones de servicio:

$$\Delta P_i = \frac{C_{Rc} \cdot \rho_r \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{2 \cdot P_n \cdot D^{4.82}} = 3.47 \cdot \frac{L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{D^{4.82}} = 0.004 \text{ bares}$$

$$\Delta P_{serv} = \sum_{i=1}^8 \Delta P_i = 8 \times 0.004 = 0.032 \text{ bares}$$

- Canalización principal:

$$\Delta P_{princ} = \frac{C_{Rc} \cdot \rho_r \cdot L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{2 \cdot P_n \cdot D^{4.82}} = 3.47 \cdot \frac{L_{equ} \cdot Q^{1.82}}{D^{4.82}} = 0.077 \text{ bares}$$

La pérdida de carga total para nuestra red es por tanto de:

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{serv} + \Delta P_{princ} = 0.032 + 0.077 = 0.109 \text{ bares} < 0.7 \text{ bares} \Rightarrow \text{Cumple}$$

En cuanto al criterio de velocidad se refiere tenemos los siguientes resultados:

- Canalización principal:

$$v = \frac{354 \cdot Q \cdot Z}{P_n \cdot D^2} = 50.57 \cdot \frac{Q}{D^2} = 4.37 \text{ m/s} < 8 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Cumple}$$

- Canalización de servicio:

$$v = \frac{354 \cdot Q \cdot Z}{P_n \cdot D^2} = 50.57 \cdot \frac{Q}{D^2} = 0.44 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Cumple}$$

Como conclusión ofrecemos los siguientes resultados:

	<i>Longitud del módulo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Material</i>	<i>Conexiones</i>
<b>Canalización Principal</b>	6 m	25 mm	aluminio	elemento plástico
<b>Canalización de servicio</b>	6 m	16 mm	aluminio	elemento plástico

#### 9.2.3.4. Selección del compresor necesario.

La selección del tipo de compresor y de su capacidad son parámetros críticos en el diseño de una instalación de aire comprimido. Una acertada elección supone un gran ahorro energético durante el funcionamiento normal de la instalación.

Los requerimientos de nuestra red que afectan a la elección del compresor son los siguientes:

- Caudal de aire generado de 300 l/min (18 Nm<sup>3</sup>/h).
- Presión nominal de trabajo 7 bares.
- Máxima caída de presión admitida en la instalación 0.7 bares.
- Número de maniobras por hora= Z20.
- Localización con ventilación suficiente para la captación de aire. Ver plano Instalación Aire Comprimido.

Con todo, y tras estudiar diversas fichas técnicas de distintos fabricantes, se opta por instalar un compresor de pistón con las siguientes características:

	<i>Proyecto Básico de Ejecución de la Edificación y Nuevas Instalaciones de REPUESTALIA S.L.</i>	<i>Autor: Antonio García López</i>	
	<i>E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla.</i>	<i>Dpto. Ingeniería del Diseño</i> <i>Tutor: Emilio Romero Rueda</i>	

- Presión máxima de suministro hasta 10 bares.
- Caudal efectivo 328 l/min.
- Potencia motor accionamiento: 4 c.v. = 3 KW.
- Incorpora depósito.
- Sistema eléctrico de accionamiento y control incorporado.
- Dimensiones versión insonorizado (73 dB(A)): 1012 x 804 x 784 mm.
- Peso 189 Kg.
- Modelo con funcionamiento exento de aceite.

#### **9.2.3.5. Dimensionamiento del depósito.**

Aunque no existe una norma general de cómo han de dimensionarse los depósitos, sí es cierto que deberían diseñarse en función de la demanda y del tamaño del compresor, utilizando los arranque por hora y los tiempos máximos de funcionamiento del compresor como parámetros de diseño.

En general, el propio fabricante del compresor aconseja la capacidad de los depósitos para sus productos según aplicación. En nuestro caso particular, y como es lo normal en las instalaciones modernas, hemos seleccionado un compresor con su propio depósito.

#### **9.2.3.6. Selección de la unidad de mantenimiento.**

Este elemento está compuesto por un filtro de partículas de baja eficiencia, un regulador con manómetro y un lubricador; su función principal es la de acondicionar una corriente determinada para su uso en una maquina. El filtro de partículas sirve para eliminar algunos contaminantes de tipo sólido, el regulador se encarga de disminuir la presión y el lubricador dosifica una cantidad requerida en algunas ocasiones por el equipo. La unidad de mantenimiento representa una combinación de los siguientes elementos:

- Filtro de aire comprimido.
- Regulador de presión.
- Lubricador de aire comprimido.

Deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal total de aire en m<sup>3</sup>/h es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en las unidades una caída de presión demasiado grande. Por eso, es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 C (valores máximos para recipiente de plástico).

En nuestro caso particular, la unidad de mantenimiento elegida debe ser capaz de manejar un caudal de 37.5 l/min (2.25 m<sup>3</sup>/h) y una caída de presión en longitud equivalente como máximo de 8.2 metros para una tubería de 20 mm de diámetro.