

ÍNDICE ANEJO Nº 11. INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

1. OBJETIVO.....	1
2. NORMATIVA A CONSIDERAR	1
3. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	1
3.1 DATOS DE PARTIDA.....	2
3.1.1 CENTRAL DE PRODUCCIÓN	2
3.1.2 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	3
3.1.3 RED DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN	3
3.1.4 RED DE ACTUADORES NEUMÁTICOS	4
3.2 CÁLCULO DE LAS REDES DE SUMINISTRO	4
3.2.1 RED DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN	4
3.2.2 RED DE ACTUADORES NEUMÁTICOS	6
3.3 CÁLCULO DEL COMPRESOR	6
3.4 CÁLCULO DEL DEPÓSITO ACUMULADOR.....	8
3.5 CÁLCULO DEL SECADOR FRIGORÍFICO	10
3.6 ETAPAS DE FILTRACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	12

1. OBJETIVO

El objeto del presente anejo es dimensionar los diferentes elementos que conforman la instalación de aire comprimido del sistema de tratamiento terciario.

Esta instalación de aire comprimido tendrá dos finalidades:

Por un lado, suministrará el aire comprimido necesario para el sistema de filtración, siendo este aire el responsable del movimiento continuo de la arena en el interior de los filtros. De este modo se llevará a cabo la limpieza de la arena, evitando así la colmatación de los filtros.

Por otro lado, servirá como fuente de presión para la apertura y/o cierre de las válvulas de mariposa con actuador neumático instaladas en el sistema de filtración. Como consideración a tener en cuenta, el consumo de aire de los actuadores neumáticos instalados, puede considerarse despreciable a efectos de cálculo, puesto que el único consumo que tienen se da en el momento del cierre de la válvula, momento en el que se vacía la tubería que va desde el cuadro de electroválvulas de mando hasta el propio actuador. Este volumen se considera despreciable respecto al caudal de producción del compresor a instalar y el número de actuadores instalados.

2. NORMATIVA A CONSIDERAR

- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. Modificaciones posteriores.
- Los materiales, aparatos, máquinas, conjuntos y subconjuntos integrados en los circuitos de la instalación estarán debidamente homologados y cumplirán la Norma Europea o UNE.

3. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

En este apartado se procede al diseño y dimensionamiento de la instalación de aire comprimido.

Como ya se ha comentado con anterioridad, para el cálculo de la instalación de aire comprimido y a efectos de consumo, sólo se considerará el consumo del sistema de filtración, puesto que los actuadores neumáticos instalados para el accionamiento automático de las válvulas de mariposa instaladas tendrán un consumo despreciable y únicamente en el momento del cierre de la válvula, momento en que se descargará la tubería de accionamiento.

Esto se debe a que para el accionamiento de la válvula tan sólo es necesario alcanzar la presión necesaria en el circuito y no un consumo específico de aire.

Es por este motivo que será la instalación de aire comprimido la que nos permitirá dimensionar los compresores y demás elementos de la instalación.

3.1 DATOS DE PARTIDA

La instalación de aire comprimido estará compuesta por los siguientes elementos:

- Central de producción.
- Red de distribución.
- Sistema de control.

3.1.1 CENTRAL DE PRODUCCIÓN

Constará de los siguientes elementos:

- Tomas de aire: Por las características de los compresores instalados, las tomas de aire de los mismos se encuentran en el interior de la carcasa del compresor. Estarán equipadas con sistema de filtrado en seco para eliminar las partículas de polvo y/o impurezas presentes en el aire aspirado.
- Grupo generador: Estará formado por dos unidades compresoras de aire de las mismas características técnicas conectadas en paralelo. La alternancia en el funcionamiento de ambas unidades se regulará automáticamente por medio de temporizadores. En este caso será la propia centralita de control de los compresores instalada la encargada del control.
Conjunto refrigerador: Por el tipo de compresor seleccionado, el refrigerado posterior a la compresión del aire se realiza en el propio compresor. En este caso se tratará de un compresor refrigerado por aire.
- Depósito acumulador: Actuará como elemento regulador para absorber las variaciones de consumo de la red y para amortiguar las fluctuaciones de presión producidas por las unidades compresoras. Se instalará lo más próximo posible a éstas. Permitirá disminuir el número de maniobras carga/vacío del compresor, alargando la vida del mismo. Además permite la introducción en el secador frigorífico de un caudal de aire con una variación igual al de la demanda de aire, más constante que el compresor, permitiendo al secador trabajar con ciclos más adecuados.

Además llevará varios elementos adicionales como son:

- Válvula de purga con temporizador automático para la evacuación de condensados del depósito a la red de saneamiento.
- Manómetro para la supervisión de la presión del depósito.
Válvula de seguridad para sobrepresión de apertura automática tarada al valor máximo de la presión de servicio establecida para el depósito acumulador.

- Secador frigorífico. Irá provisto de bypass que permita puentear la entrada y la salida del mismo. Este secador permitirá eliminar la humedad residual del aire comprimido, por lo que la salida del mismo deberá conectarse a la red de saneamiento.
- Filtros de línea. Se instalarán tres filtros de partículas también provistos de bypass para permitir las labores de mantenimiento oportunas. Cada uno de ellos tendrá un rango de filtrado de partículas desde las 3 micras hasta las 0.1 micras, colocándose en serie y según los diámetros de filtración de partículas para evitar la colmatación precoz de los mismos.

3.1.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

Comprende el conjunto de canalizaciones, filtros y elementos de corte y regulación situados entre la central de producción y las válvulas de toma que permiten la conexión de los equipos utilizadores.

Las canalizaciones de la red de distribución se separarán como mínimo 5 cm. de cualquier otra canalización y se conectarán a tierra. Las canalizaciones horizontales tendrán una pendiente descendiente en el sentido del flujo del aire comprimido no inferior al 0.5% disponiéndose vistas o en cámaras registrables.

En el arranque de los distribuidores de aire a presión inferior a la de producción, se instalarán válvulas reguladoras de presión. En nuestro caso, al tratarse de dos circuitos independientes (el del sistema de filtración y el de los actuadores neumáticos), se instalará una en el arranque de cada una de las derivaciones.

3.1.3 RED DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

A partir de la válvula reguladora de presión, se colocará una electroválvula accionada por el PLC que permitirá la apertura y cierre del circuito de aire comprimido, así como un presostato tarado a la presión mínima necesaria en el circuito que enviará una señal digital al PLC dando una señal de alarma en el caso de no tener presión en el circuito, y permitiendo la actuación que se estime oportuna.

A partir de aquí, se llevará la canalización hasta el anillo de reparto ya instalado en el sistema de filtración.

A partir del anillo de reparto saldrán las derivaciones a cada uno de los cuadros de servicio de aire comprimido al sistema de filtración.

Cada uno de ellos estará equipado de una válvula reguladora de presión, un rotámetro para control del caudal, un pulsador para alimentación directa a los filtros y una electroválvula controlada por el PLC para la alimentación directa de forma automática.

3.1.4 RED DE ACTUADORES NEUMÁTICOS

Del mismo modo que en la red del sistema de filtración, la red de actuadores neumáticos arrancará desde la válvula reguladora de presión. Ésta deberá estar tarada a una presión comprendida entre los 2 y 8 bar, según la presión mínima necesaria para la apertura de los actuadores de las válvulas neumáticas seleccionados.

A partir de este punto, se alimentará al cuadro de electroválvulas de mando de cada una de las válvulas neumáticas instaladas.

Éstas, en función de las señales digitales recibidas por el PLC, abrirán o cerrarán, permitiendo el paso del aire comprimido y de este modo, la apertura o cierre de las válvulas de mariposa con actuador neumático instaladas.

Se ha optado por centralizar las electroválvulas en un cuadro diseñado para tal fin y a partir de aquí sacar cada una de las derivaciones de aire hasta los actuadores en cada una de las válvulas neumáticas instaladas. Esto permite que en el caso de tener que abrir y/o cerrar las válvulas de forma manual, la operación se pueda realizar desde un mismo punto.

3.2 CÁLCULO DE LAS REDES DE SUMINISTRO

3.2.1 RED DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

Se diseñará el sistema para 4 tomas de aire (cada uno de los filtros). Cada una de ellas se dimensionará para una presión de 5 bar. y un caudal medio de 35 l/min = 0.6 l/s.

Para el dimensionado de la red, el caudal en cada ramal de acometida a los equipos se multiplicará por un factor corrector de 1,5. A su vez, el caudal en cada uno de los tramos intermedios, se obtendrá de sumar los caudales en cada una de las ramificaciones.

Se calculará para cada tramo la presión, el diámetro y la pérdida de presión comenzando por los ramales finales y continuando hacia el distribuidor principal en sentido contrario al del flujo de aire.

La presión media en un tramo final se considera igual al valor de presión del aparato utilizado (en este caso los filtros), por lo que la presión será de 5 bar = 500 kPa.

La presión media en los tramos intermedios se considerará igual a la suma de la presión media y de la pérdida de presión correspondiente a aquella de las ramificaciones que parten del nudo final para la cual dicha suma tiene un valor máximo.

En cada tramo que alimente a un regulador de presión, el valor medio de la misma se considera igual a la suma de la presión media y la pérdida de presión de cualquiera de las ramificaciones que parten del nudo inicial.

El diámetro nominal en mm. de la canalización se obtendrá de las tablas de la NTE-IGA a partir del caudal en l/s y de la presión media en kPa, considerando como valor de entrada para la presión el inmediatamente inferior que figure en la cabecera de la tabla y para el caudal el inmediatamente superior.

Para el cálculo de las pérdidas de presión en cada tramo en kPa, recurriremos a la siguiente expresión

$$\Delta P = \frac{dP(L + L_e)}{10}$$

Siendo:

ΔP : Pérdidas de presión en kPa.

dP : Coeficiente en kPa/m obtenido en tablas de la NTE-IGA.

L = Longitud real del tramo.

L_e = Suma de las longitudes equivalentes en m. de los accesorios existentes en el tramo obtenidas en tablas de la NTE-IGA a partir del diámetro nominal y del tipo de accesorio.

Para simplificar el proceso, y puesto que nuestra instalación se realizará mediante un anillo de distribución, dimensionaremos tanto la tubería de alimentación como el anillo de distribución en un mismo diámetro, de tal forma que supondremos que por el mismo circulase el caudal total máximo de la instalación que será : $Q = 0,6 \cdot 4 \cdot 1,5 = 3,60$ l/s.

Así tenemos:

TRAMO	Q (l/s)	P (kPa)	D (mm)	L (m)	Acc	Le (m)	dP (kPa/m)	ΔP (kPa)
Filtros	0,6	500	8	2.5	C. aire	4	2.5	1.625
Valv. Reg. P. - Filtros	3,6	501,625	15	34.7	4T+4C	6.2	3	12.27

Como se observa, las caídas de presión no exceden de 1 bar. en todo el circuito para los diámetros de tubería considerados.

Puesto que la instalación de aire comprimido se va a realizar en Acero inoxidable AISI-304 hasta el punto de alimentación a filtros, se tomará un diámetro de canalizaciones de DN-3/4" para todas las canalizaciones y hasta el punto de alimentación a filtros.

Desde este punto y hasta los cuadros de aire de servicio en los filtros, se utilizará polietileno de 8mm. de diámetro utilizando la racorería necesaria para la transición de un material a otro.

3.2.2 RED DE ACTUADORES NEUMÁTICOS

Como ya se ha comentado, con anterioridad, esta red no consume caudal de aire, puesto que tan sólo necesita presión en el actuador para el cierre de la válvula neumática a la que se conecta.

Por este motivo, las pérdidas de carga se considerarán nulas y tan sólo deberá suministrar el aire necesario para llenar el tramo de tubería y aumentar la presión hasta el valor necesario para el cierre de la válvula.

Si suponemos una longitud de tubería de 100m (ninguna supera realmente los 20 m) y una tubería de 10 mm.de diámetro interno, el volumen de aire necesario para la apertura de una válvula sería de 7.85 l. Volumen que puede ser suministrado por el depósito acumulador sin causar alteraciones en el resto de suministros y repuesto por el compresor en un tiempo de segundos.

Por este motivo, la única consideración que se hace al respecto es el de utilizar canalizaciones de diámetros no muy elevados que permitan un consumo bajo de aire en los procesos de apertura de válvulas.

También se debe considerar que nunca se producirá la apertura de más de 1 válvula neumática a la vez según la configuración del sistema planteado, puesto que la apertura de unas impide la apertura de otras, etc.

Por este motivo, se instalará una canalización de acero inoxidable AISI-304 DN3/4" hasta el cuadro de electroválvulas, considerándose suficiente para la alimentación a todas ellas y teniendo en cuenta que ésta permanecerá siempre en carga y a partir de las electroválvulas hasta cada uno de los actuadores, canalización de polietileno de 8 mm.de diámetro hasta cada uno de los actuadores de las válvulas neumáticas, utilizando la racorería necesaria para la transición de un tipo de canalización a otro.

3.3 CÁLCULO DEL COMPRESOR

Se diseñará el sistema para 4 tomas de aire (cada uno de los filtros). Cada una de ellas se dimensionará para una presión de 5 bar. y un caudal medio de 35 l/min.

Siguiendo las instrucciones de la NTE-IGA, para el dimensionado del compresor, debemos multiplicar por 3 el valor obtenido de los caudales correspondientes a las distintas unidades de consumo. En este caso, las unidades de consumo serán únicamente los filtros, para los cuales, siguiendo las instrucciones del fabricante, se considerará un consumo de 35 l/min. por filtro.

Así, el caudal de cálculo para el compresor será de : $35 \cdot 4 \cdot 3 = 420$ l/min.

Como ya se ha comentado con anterioridad, el consumo de las válvulas neumáticas se considera despreciable respecto a los consumos del resto de equipos, además al sobredimensionar el compresor (x3), aseguramos un caudal suficiente en los momentos puntuales de apertura de las válvulas neumáticas que permitan su correcta operación.

Para la presión nominal del compresor se considerarán las pérdidas de presión calculadas anteriormente en las redes de suministro. Como además debemos suministrar una presión de entre 2 y 8 bar a los actuadores neumáticos (muy superior a la presión necesaria en los filtros), se seleccionará un compresor que permita alcanzar presiones superiores a ésta y mediante las válvulas reguladoras de presión limitaremos la presión en las líneas de suministro.

Según los resultados obtenidos, se instalará un compresor:

Compresor de tornillo BOGE CL7	
Datos técnicos	
Caudal efectivo de suministro de toda la instalación	0,718 m ³ /min.
Aire efectivo según norma PN2 CPT C2 e ISO 1217, anexo C	
Sobrepresión máxima	10 bar
Potencia nominal del motor de accionamiento	5,5 Kw
Modo de protección/clase de aislamiento de los motores	IP55/F
Tensión de servicio/mando (compresor)	400/230 V 50 Hz
Diferencial temperatura de salida del aire comprimido sobre temperatura	12°K
Temperatura máxima final de compresión	110 °C
Caudal volumétrico del aire de refrigeración (compresor)	800 m ³ /h
Temperatura de aspiración o ambiente (min.....máx)	+2....+40 °C
Punto de rocío a presión en las condiciones de entrada conforme DIN ISO	
Nivel de presión sonora de la instalación (DIN 45635 Parte 13/CAGI-	
Contenido de aceite residual en el aire comprimido	1,3 mg/m ³
Dimensiones y peso	
Salida del aire comprimido	3/8"
Anchura/profundidad/Altura	755x485x495
Peso	130 Kg



3.4 CÁLCULO DEL DEPÓSITO ACUMULADOR

Siguiendo las instrucciones de la NTE-IGA, para el cálculo del depósito acumulador debemos utilizar la siguiente expresión:

$$V = 60 \cdot Q \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Siendo:

V : Volumen en litros del depósito acumulador.

Q : Caudal suministrado por el compresor en l/s.

K₁ : Factor de corrección obtenido a partir de la relación entre el consumo total y el caudal nominal del compresor.

K₂ : Factor de corrección obtenido a partir de la relación entre la presión máxima que puede suministrar el compresor y la mínima admisible a la salida del depósito acumulador.

K₃: Factor de corrección obtenido a partir del número de maniobras por hora posibles del compresor y determinadas por el arrancador.

Estos factores se obtendrán de las tablas destinadas a tal fin en la norma NTE-IGA.

k₁: Factor de corrección obtenido a partir del factor de carga del compresor (f).

$$f = \frac{Q_{consumo}}{Q_{prod}} = \frac{140 \left(\frac{l}{min}\right)}{718 (l/min)} = 0,195$$

Si el factor está comprendido entre 0,5 y 1 se entrará en la tabla con el valor $f' = 1 - f$. Así $f' = 0,195$.

f'	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
k₁	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: $f = 1 - f'$

$k_1 = 0,64$.

k_2 : Factor de corrección obtenido a partir de la diferencia de presión entre la presión máxima que puede suministrar el compresor y la mínima admisible a la salida del depósito:

$DP = 10 - 8,12 = 1,88$

ΔP	2,80	2,60	2,40	2,20	1,80	1,60	1,40	1,20	0,80	0,60	0,40
k₂	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

$k_2 = 0,54$

k_3 : Factor de corrección obtenido a partir del número de maniobras (z) por hora posibles de la unidad compresora. Para un valor de 14 arranques por hora, $z = 14$

z	60	50	40	30	25	20	14	13	11	9	7
k₃	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

28

$k_3 = 1,07$

$V = 60 \cdot 718 / 60 \cdot 0,64 \cdot 0,54 \cdot 1,07 = 265,51 \text{ l.}$

Con este resultado el depósito seleccionado será:

Depósito de aire comprimido BOGE 300 I	
Datos técnicos	
Material	Chapa de acero
Capacidad	300 l.
Configuración	Vertical
Presión máxima de servicio	10 bar

Presión de prueba hidráulica	12 bar
Válvula de seguridad tarada a	11 bar
Dimensiones	
Diámetro	620 mm.
Altura	1.500 mm.



3.5 CÁLCULO DEL SECADOR FRIGORÍFICO

Como ya se ha comentado con anterioridad se instalará un secador frigorífico provisto de bypass que permita puentear la entrada y la salida del mismo.

Este secador permitirá eliminar la humedad residual del aire comprimido, por lo que la salida del mismo deberá conectarse a la red de saneamiento.

Mediante un ciclo frigorífico se enfría el aire comprimido hasta 3° C, a esta temperatura y mediante un purgador automático son eliminados los condensados producidos. De esta forma se consigue un punto de rocío a la presión de trabajo de 3° C.

El secador frigorífico es accionado por un compresor eléctrico y refrigerado por aire.

Para el dimensionado del secador, debe tenerse en cuenta el caudal volumétrico y dividir éste por una serie de factores en función de las temperaturas y presiones de trabajo, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Así, suponiendo un caudal volumétrico de 718 l/min, podemos dimensionar el secador según los siguientes parámetros y según las tablas del fabricante:

Temperatura del aire de refrigeración: 30° C – Factor: 0.97.

Temperatura de entrada del aire comprimido: Supongamos una temperatura máxima a la salida del depósito de aire comprimido de 50°C. Factor: 0.58.

Presión de trabajo: La mínima que se estableció en el cálculo del depósito es de 6 bar. Factor: 0.94.

Con estos datos, se debe seleccionar un secador frigorífico con un caudal volumétrico de: $V = 718 / (0.97 \cdot 0.58 \cdot 0.94) = 1.357,38$ l/min.

Así, el secador frigorífico seleccionado será:

Secador frigorífico BOGE DO 18	
Datos técnicos	
Caudal nominal a 7 bar y 35°C	1.800 l/min
Punto de rocío en condiciones normales	3°C
Potencia eléctrica	0,41 kW
Tensión 50Hz, monofásica	230 VAC
Presión máxima de servicio	16 bar
Conexión de aire	¾"
Dimensiones y peso	
Anchura/profundidad/altura	420/540/553
Peso	33 Kg



3.6 ETAPAS DE FILTRACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Se instalarán tres filtros de partículas también provistos de bypass para permitir las labores de mantenimiento oportunas. Cada uno de ellos tendrá un rango de filtrado de partículas desde las 3 micras hasta las 0.1 micras, colocándose en serie y según los diámetros de filtración de partículas para evitar la colmatación precoz de los mismos.

Prefiltro BOGE V 20

El rendimiento es del 99,99%, en relación a partículas de más de 3 micras

Prefiltro V 20	
Datos técnicos	
Caudal volumétrico a 20 °C, 1 bar y presión de servicio de 7 bar	1,7 m³/min
Presión diferencial	0,03 bar
Presión admisible de servicio (máxima)	16 bar
Conexiones	½"
Dimensiones	
Altura de caja (sin manómetro diferencial)	315 mm
Peso	4,3 Kg

Microfiltro BOGE ZP 20

El rendimiento alcanza junto con el microfiltro el 99,9999%, en relación a partículas de más de 0,01 micras

Microfiltro BOGE ZP 20
Datos técnicos

Caudal volumétrico a 20 °C, 1 bar y presión de servicio de 7 bar	1,7 m ³ /min
Presión diferencial	0,09 bar
Presión admisible de servicio (máxima)	16 bar
Conexiones	½"
Dimensiones	
Altura de caja (sin manómetro diferencial)	260 mm
Peso	4,3 Kg

Microfiltro BOGE FP 20

El rendimiento alcanza junto con el microfiltro el 99,9999%, en relación a partículas de más de 0,01 micras

Microfiltro BOGE FP 20	
Datos técnicos	
Caudal volumétrico a 20 °C, 1 bar y presión de servicio de 7 bar	1,7 m ³ /min
Presión diferencial	0,09 bar
Presión admisible de servicio (máxima)	16 bar
Conexiones	½"
Dimensiones	
Altura de caja (sin manómetro diferencial)	260 mm
Peso	4,3 Kg



El diseño y la disposición de los distintos equipos, tanto de la red de suministro de aire comprimido como de los equipos que la componen, puede observarse en los planos destinados a la instalación de aire comprimido, así como los diámetros y dimensiones de los elementos que la conforman y han sido calculados en este anejo.