

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO
PARA EL NUEVO EDIFICIO DEL
INSTITUTO PROFESIONAL VIRGINIO GÓMEZ”**

**Seminario de Titulación presentado en
conformidad a los requisitos para obtener
el Título de Ingeniero de Ejecución en
Mecánica.**

**PROFESOR GUÍA:
Ing. Sr. SANTIAGO RIQUELME CASTILLO**

**CRISTIÁN ARTURO ALBORNOZ VIDAL
RODRIGO ALEJANDRO BUSTOS VERDUGO**

2007

ÍNDICE

CONTENIDO.	PÁGINA.
INTRODUCCIÓN.	4
OBJETIVOS.	5

CAPÍTULO 1.

1. INTRODUCCIÓN.	6
1.1. REFERENCIAS HISTÓRICAS.	6
1.2. GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO.	7
1.3. SISTEMA DE UNIDADES.	8
1.4. EL AIRE.	9
1.4.1. Constantes físicas del aire.	10
1.5. PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA.	10
1.6. HUMEDAD DEL AIRE.	11
1.6.1. Punto de rocío.	11
1.6.2. Humedad relativa del aire (φ).	13
1.6.3. Humedad máxima del aire ($w_{\text{máx}}$).	14
1.6.4. Humedad absoluta del aire (w).	14
1.7. COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE AGUA DURANTE LA COMPRESIÓN.	14

CAPÍTULO 2.

2. PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.	16
2.1. INTRODUCCIÓN.	16
2.2. COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.	18
2.2.1. De acción rectilínea. Compresores de pistón.	18
2.2.2. Compresores de diafragma.	19
2.3. COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO-ROTATIVOS.	20
2.3.1. De un rotor. Compresor de paletas.	20
2.4. DE DOS ROTORES.	21
2.4.1. Compresores de tornillo.	21
2.4.2. Compresores Root.	22
2.5. SELECCIÓN DEL COMPRESOR.	22
2.5.1. Presión.	22
2.5.2. Caudal.	23
2.5.2.1. Coeficiente de uso (C_U).	23
2.5.2.2. Coeficiente de simultaneidad (C_S).	23
2.5.2.3. Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA}).	24

2.5.2.4. Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF}).	24
2.5.2.5. Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{CC}).	24
2.5.3. Accionamiento.	25
2.5.4. Refrigeración.	25
2.5.5. Instalación.	25

CAPÍTULO 3.

3. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.	26
3.1. INTRODUCCIÓN	26
3.2. REDES DE AIRE COMPRIMIDO.	26
3.2.1. Tubería principal.	26
3.2.2. Tubería secundaria.	26
3.2.3. Tubería de servicio.	26
3.3. CONFIGURACIÓN DE LA RED.	27
3.3.1. Red abierta.	27
3.3.2. Red cerrada.	27
3.3.3. Red interconectada.	28
3.4. SELECCIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS.	28
3.5. ALMACENAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.	30
3.5.1. Instalación.	32
3.6. CÁLCULO ELEMENTAL DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN.	32
3.6.1. Presión máxima del régimen.	33
3.6.2. Caudal máximo a utilizar.	33
3.6.3. Pérdidas de carga.	33

CAPÍTULO 4.

4. TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.	36
4.1. INTRODUCCIÓN.	36
4.2. PROCEDIMIENTOS DE SECADO.	36
4.2.1. Secador frigorífico.	37
4.2.2. Secador por absorción.	38
4.2.3. Secador por adsorción.	38
4.2.4. Secador de membrana.	39
4.3. FILTRACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.	41
4.3.1. Clasificación de los filtros.	41
4.3.2. Contenido de aceite en el aire comprimido.	41
4.4. SELECCIÓN DE FILTROS.	42
4.5. REGULADORES DE PRESIÓN.	44

CAPÍTULO 5.

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.	46
5.1. INTRODUCCIÓN.	46
5.2. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO A SUMINISTRAR.	47
5.3. UNIDADES CONSUMIDORAS.	47
5.3.1. Sillones dentales.	48
5.3.2. Equipos dentales para niños.	48
5.4. CRITERIOS GENERALES PARA LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.	48

CAPÍTULO 6.

6. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.	49
6.1. INTRODUCCIÓN.	49
6.2. CÁLCULO DE TUBERÍAS.	49
6.2.1. Diámetro de las tuberías.	49
6.2.1.1. Procedimiento de cálculo.	49
6.2.1.2. Normalización de los diámetros.	53
6.2.2. Selección de material y uniones para las tuberías.	53
6.2.2.1. Material.	53
6.2.2.2. Uniones para las tuberías.	54
6.3. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.	54
6.4. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL COMPRESOR.	55
6.4.1. Selección del compresor.	56
6.5. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	57
6.5.1. Selección del tanque de almacenamiento.	58
6.6. SELECCIÓN DE LOS FILTROS.	58
6.6.1. Microfiltro FFG.	59
6.6.2. Filtro bacteriológico FST.	60
6.7. SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN.	61
6.8. PRESUPUESTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.	63

CONCLUSIONES.	64
----------------------	-----------

OBSERVACIONES GENERALES.	66
---------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.	67
----------------------	-----------

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el aire comprimido es muy utilizado en la industria, en diversos procesos tecnológicos y usos médicos.

El presente documento tiene por finalidad mostrar la aplicación práctica de los conceptos de aire comprimido, en particular en el diseño de una red de aire comprimido para uso dental.

Esta red se diseña para la posterior construcción en el sexto piso del nuevo edificio del Instituto Profesional Virginio Gómez, el que estará ubicado en la esquina de la calle Lord Cochrane y la Avenida Arturo Prat, en la ciudad de Concepción, Región del Bío Bío.

En el sexto piso de este edificio estarán ubicados 12 boxes dentales con sus respectivos sillones, además de un aula preclínico para niños.

Para ello se abordarán conceptos teóricos del aire a presión: sus propiedades, la producción, distribución y los tratamientos necesarios a aplicar para la óptima utilización. También se pondrá una especial atención a todos los equipos necesarios para implementar la red, llámese compresores, filtros, estanques de almacenamiento, reguladores de presión, etc. Todo esto con el fin de obtener completa claridad sobre lo que es el aire comprimido. Los primeros cuatro capítulos de este informe abordan este tema.

Los siguientes capítulos (5 y 6) se enfocan al cálculo propiamente tal de la red, y la selección de los equipos necesarios. Se busca seleccionar equipos que estén disponibles en el mercado nacional y que sean de primera calidad, considerando que la red será utilizada para fines odontológicos, lo cual implica proveer de aire comprimido de la mejor calidad.

OBJETIVOS

El principal objetivo del presente proyecto es:

- El diseño de una red de aire comprimido para el nuevo edificio del Instituto Profesional Virginio Gómez.

De este principal objetivo se desprenden otros objetivos secundarios, los cuales son:

- La calidad del aire comprimido a suministrar a la red. Esto debido a que los equipos serán utilizados para fines dentales. Por ello se ve la necesidad de poner especial cuidado en este aspecto.
- Selección de las tuberías que conformarán la red de aire comprimido.
- Selección de los equipos principales de la red.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. REFERENCIAS HISTÓRICAS.

En la antigüedad los griegos fueron cautivados, en su búsqueda de la verdad, por cuatro “elementos” que se presentaban con relativa continuidad y abundancia. Éstos eran: el agua, el aire, el fuego y la tierra.

Uno en particular, el aire, parecía por su naturaleza volátil y presencia transparente, la más fina expresión de la materia, que en otras “densidades” o “estados” constituía, además, los otros “elementos”. En griego, la palabra *pneúma* significa “corriente de aire, soplo” y en consecuencia la técnica que utiliza el aire como vehículo para transmitir energía se llamó NEUMÁTICA.

A partir de allí el aire se usó de muy variadas maneras, en algunos casos, tal como se presenta en la naturaleza, o sea, en movimiento.

La navegación a vela fue quizás la más antigua forma de aprovechamiento de la energía eólica. Más tarde los molinos de viento la transformaron en energía mecánica, permitiendo en algunos casos, mover moliendas, y en otros, bombeadores capaces de desplazar agua unos cuantos metros por encima del nivel en el que estaban operando.

El aire presenta en general connotaciones muy importantes desde el punto de vista de su uso: desde su necesidad para la vida, hasta contener olas en el mar, o impedir el congelamiento de agua por burbujeo. El aire ha sido empleado en otras importantes funciones cuya evolución se resume así:

- **1500 aC** **Fuelle de mano y de pie.**
- **1762 dC** **Cilindro soplante.**
- **1776 dC** **Prototipo compresor neumático.**
- **1861 dC** **Perforadoras neumáticas.**
- **1865 dC** **Correo neumático de París (Francia).**
- **1869 dC** **Freno de aire para ferrocarriles.**
- **1874 dC** **Correo neumático de Viena (Austria).**
- **1875 dC** **Correo neumático de Berlín (Alemania).**
- **1888 dC** **Reloj neumático.**
- **1891 dC** **Compresores de dos etapas.**

De allí en más continúa una franca expansión de la aplicación de la técnica neumática, expansión que se produce en forma simultánea con la involución de la utilización del vapor, y que coincide con el conocido hecho de la Segunda Revolución Industrial.

En nuestros días la neumática ha tomado fundamental importancia sobre todo en aplicaciones donde la velocidad de actuación debe ser elevada y particularmente en instalaciones donde la seguridad es el factor más importante.

1.2. GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO.

El aire comprimido constituye en realidad una forma de transporte de energía y su utilización se ha ido imponiendo paulatinamente, como ya se ha visto.

Sería interesante investigar los motivos de tal evolución circunscribiendo el accionar a las características que éste presenta.

Sería también oportuno anticipar la posibilidad de que exista tanto características deseables como indeseables.

Así tenemos:

CARACTERÍSTICAS Y CONSECUENCIAS.

- Se trata de un medio elástico, así que permite su compresión.
- Una vez comprimido puede almacenarse en recipientes.
- Esta posibilidad de almacenamiento hace que su transporte se efectúe de dos formas: una por conductos y tuberías y otra en pequeños recipientes preparados para tal efecto.
 - Aún comprimido el aire no posee características explosivas, esta particular situación hace de la técnica neumática un aliado fundamental en casos de seguridad. Además no existen riesgos de chispas o cargas electrostáticas.
 - La velocidad de los actuadores neumáticos es razonablemente alta (en términos industriales) y su regulación es posible realizarla fácilmente y en forma continua (con ciertas restricciones).
 - Los cambios de temperaturas no modifican su prestación en forma significativa y no produce calor por sí mismo.
 - Requiere instalaciones especiales para la recuperación del fluido utilizado (aire).
 - Normalmente se trata de una técnica limpia (desde el punto de vista microscópico), característica que unida a la seguridad, ya mencionada, proporciona una herramienta eficaz en muchísimos procesos industriales.
 - La limpieza característica de la que se habló antes, se va perdiendo a medida que se “mira” el aire en detalle. Efectivamente, en dimensión microscópica, el aire presenta impurezas que, para su uso satisfactorio, deben eliminarse. Es decir: el aire tal cual se toma de la atmósfera no sirve, motivo por el cual se debe someter a ciertos tratamientos que se conocen como *preparación del aire comprimido*.
 - Otro de los inconvenientes que se presenta es el ruido que provoca la descarga del aire. Este inconveniente puede evitarse razonablemente con silenciadores. Cabe aclarar que el aire de descarga podría estar contaminado y

que por lo tanto no sigue teniendo vigentes todas las propiedades que tenía cuando se le aspiró.

1.3. SISTEMA DE UNIDADES.

Cuando se necesita encarar el estudio de cualquier disciplina técnica, es absolutamente necesario convenir previamente qué sistemas de unidades se utilizarán.

Esta precaución es necesaria tomarla para evitar tanto errores de operación como de apreciación en los resultados obtenidos.

Existen varios sistemas de unidades. De entre todos se elegirá para este informe el Sistema Internacional de Medidas (SI), pues esto permitirá generar documentos con validez internacional, sin necesidad de recurrir a molestas equivalencias.

Como es lógico, no se desarrollarán aquí todas las magnitudes sino sólo las que interesan para el presente informe.

Así se tiene:

Magnitud	Símbolo	Unidad de medida	Abreviatura
Longitud	L	metro	<i>m</i>
Masa	m	kilogramo	<i>kg</i>
Tiempo	t	segundo	<i>s</i>
Temperatura	T	kelvin	<i>K</i>

TABLA 1.01 UNIDADES FUNDAMENTALES (SI)

Magnitud	Símbolo	Fórmula	Unidad de medida	Abreviatura
Velocidad	v	L/t	metro por segundo	<i>m/s</i>
Aceleración	a	L/t^2	metro por segundo ²	<i>m/s²</i>
Fuerza	F	$F = m * a$	newton	<i>N</i>
Área	Á	$Á = L * L$	metro ²	<i>m²</i>
Volumen	V	$V = L * L * L$	metro ³	<i>m³</i>
Caudal	Q	$Q = V/t$	metro ³ por segundo	<i>m³/s</i>
Presión	P	$P = F/Á$	pascal	<i>Pa</i>

TABLA 1.02 UNIDADES DERIVADAS (SI)

1.4. EL AIRE.

El aire es un gas que envuelve la Tierra y que resulta absolutamente imprescindible para la respiración de todos los seres vivos. Está compuesto de una mezcla mecánica de varios gases, prácticamente siempre en la misma proporción (salvo pequeñas variaciones en función del tiempo, localización geográfica y altitud.), y en la que destaca el nitrógeno que es neutro para la vida animal y el oxígeno, que es esencial para la vida en todas sus formas.

En la Figura 1.01 se puede apreciar la composición del aire seco.

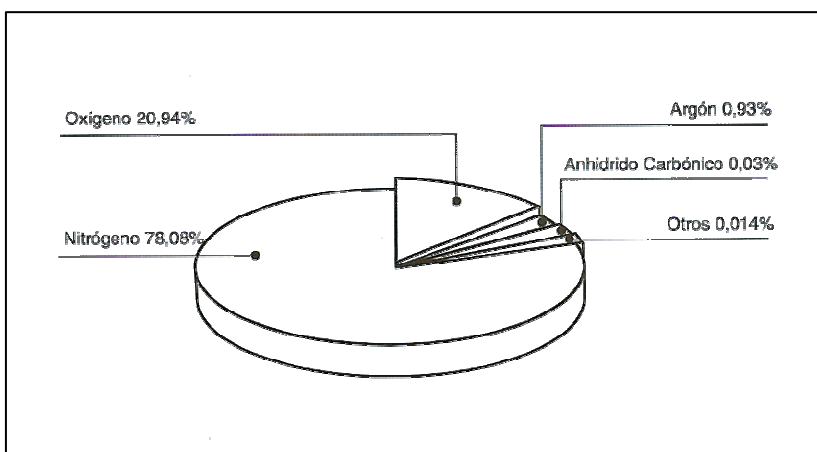


FIGURA 1.01
COMPOSICIÓN DEL
AIRE SECO

Nótese que se cita “aire seco”, y no simplemente “aire”. Esto se debe a que el aire atmosférico es “*aire húmedo*”, que contiene una cantidad variable de vapor de agua que reviste gran importancia para las condiciones de confort del ser humano. Además del aire seco y vapor de agua mencionada, el aire que respiramos contiene otros elementos de gran incidencia sobre la salud. Estos son gases, humos, polvo, bacterias, etc.

El aire rodea nuestro planeta formando una capa de varios kilómetros de espesor. Esta capa permanece “pegada” a la superficie gracias a la gravedad terrestre.

Imaginando la atmósfera como si estuviera constituida por distintas capas, resultaría evidente que cada una de ellas descansaría sobre la otra hasta alcanzar la superficie. Sobre ella percibimos el resultado de aquellas cargas sucesivas que reconocemos como *presión atmosférica*.

Naturalmente la Tierra está en constante movimiento sobre sí misma y alrededor del Sol. En consecuencia cabe imaginar una serie de variaciones en el espesor de la capa de aire que se manifiesta finalmente como una variable de la presión atmosférica.

1.4.1. Constantes físicas del aire.

- Masa de aire seco: 1.2928g/l (a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, y 1.013bar).
- Velocidad del sonido: 331.48m/s (a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, y 1.013bar).
- Calor específico a presión constante y a 0°C : 1004.67J/kgK
- Conductividad térmica: 0.02W/Km
- Temperatura crítica: $-140.63\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Presión crítica: 3.78MPa .
- Constante del gas: 287.1J/kgK .

1.5. PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA.

Considerando que los seres humanos se han desarrollado en un ambiente sometido a la presión de 0.1MPa (presión atmosférica), pero sin percibirla, las primeras mediciones tomaron como referencia esta presión.

Este es el motivo por el cual cualquier valor de presión que sea superior a la atmosférica se conoce como *presión* (o sobrepresión); y a cualquier valor de presión que esté por debajo de la atmosférica se le reconoce como *vacío* (o depresión).

Según sea la referencia que se tome para medir la presión, se estará en presencia de una medida absoluta o relativa (Ver Figura 1.02)

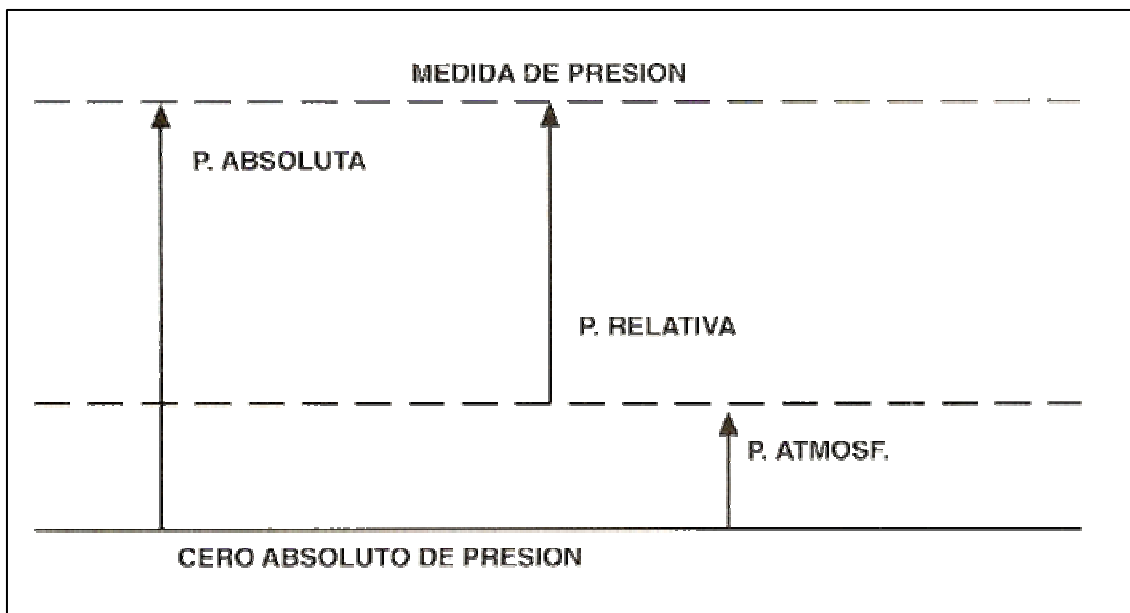


FIGURA 1.02
ESQUEMA INDICANDO REFERENCIAS
PARA PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA.

Es decir: la presión relativa (o efectiva) es aquella medida de presión que toma como referencia la presión atmosférica, mientras que la presión absoluta es aquella medida de presión que toma como referencia al cero absoluto de presión.

Se sabe que para expresar con claridad una determinada cantidad de aire se debe definir su estado. Esto es, indicar el valor de la presión, del volumen y de la temperatura del mismo.

Habitualmente uno de los parámetros de mayor interés es el volumen, lo que conduciría a aclarar presión y temperatura asociadas a ese estado.

Para evitar esta situación se ha convenido hablar del VOLUMEN NORMAL que presupone fijas la presión y la temperatura en 0.1 MPa y 273 K , respectivamente.

1.6. HUMEDAD DEL AIRE.

El aire húmedo es una mezcla entre aire seco y vapor de agua. El aire sólo puede contener vapor de agua en cantidades limitadas. La cantidad depende de lo que indique el barómetro y además de la temperatura. Si el aire se enfría (por ejemplo entrando en contacto con un cristal frío), el vapor de agua se deposita en el cristal en forma de pequeñas gotas. Este efecto de condensación tiene ciertos límites que están determinados por el *punto de rocío* y por el *punto de condensación bajo presión*.

1.6.1. Punto de rocío.

Este concepto es muy importante para manejarse acertadamente con el aire ya sea que esté comprimido o no.

El punto de rocío o, también, punto de condensación, es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua (o sea, que el aire ya no puede contener más vapor de agua). Esta saturación completa corresponde a una humedad de 100%. En el momento en que la temperatura del aire es inferior a ese punto, empieza la condensación del aire húmedo. Si las temperaturas son inferiores a 0°C , se forma hielo. Este fenómeno puede limitar considerablemente el caudal y el funcionamiento de los componentes incluidos en una red neumática. Cuanto menor es el punto de rocío, tanto menor es la cantidad de agua que puede retener el aire. El punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, aplicándose lo siguiente:

- Cuanto más alta es la temperatura, más vapor de agua es capaz de retener el aire.
- Cuanto más alta es la presión, menos humedad contiene el aire.

Cabe distinguir la posibilidad de realizar este experimento a presión atmosférica o bajo presión.

Como existe una variación de la humedad de saturación cuando aumenta la presión, también hay una variación del punto de rocío.

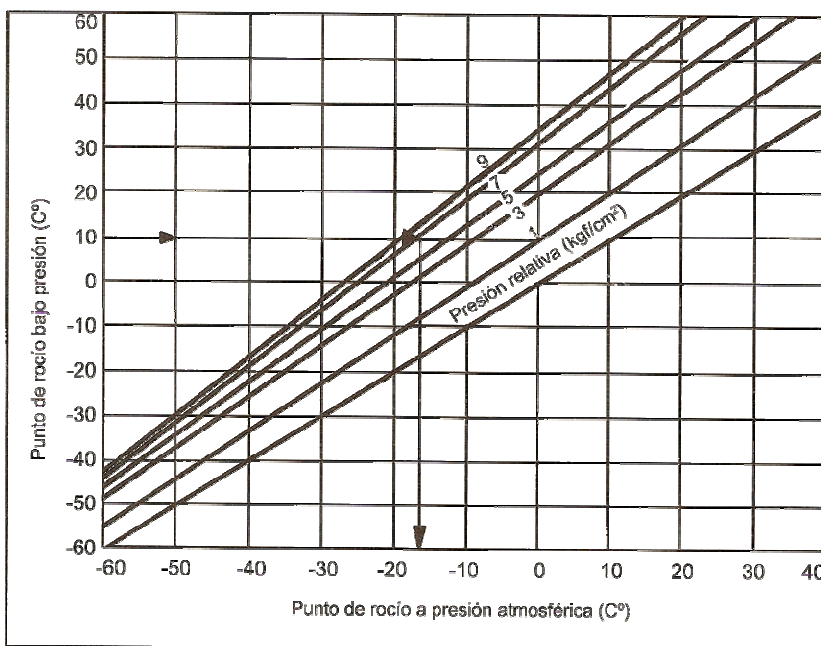


FIGURA 1.03
GRÁFICO PARA LA
CONVERSIÓN DEL PUNTO
DE ROCÍO BAJO
PRESIÓN A PUNTO DE
ROCÍO A PRESIÓN
ATMOSFÉRICA.

La Figura 1.03 muestra un gráfico en que se pueden conseguir las equivalencias correspondientes.

Para determinar el punto de rocío se puede recurrir al diagrama de Mollier, de la Figura 1.04. Por ejemplo, suponiendo que la humedad relativa del aire es de 50%, la presión $p=3\text{bar}$ y la temperatura $T=24^{\circ}\text{C}$, el punto de rocío se determina del diagrama, como se aprecia a continuación.

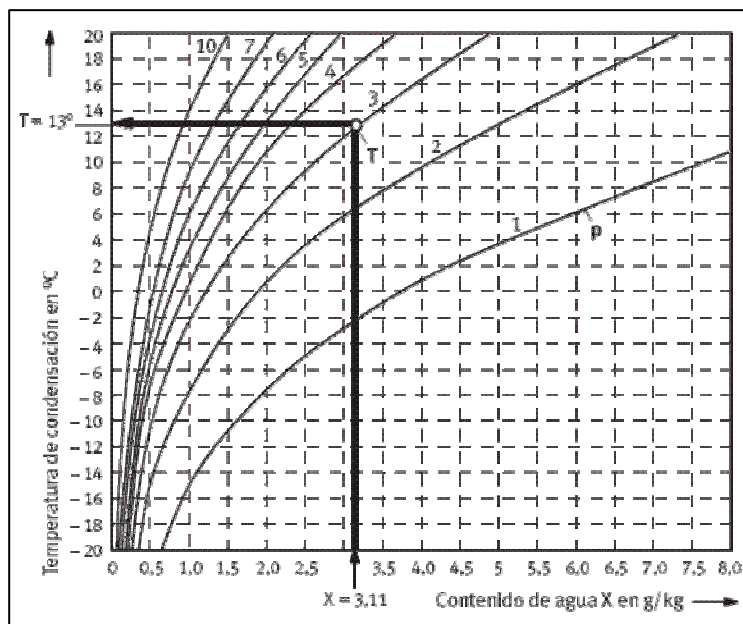


FIGURA 1.04
DIAGRAMA DE MOLLIER
(REPRESENTACIÓN
PARCIAL).
T: PUNTO DE
CONDENSACIÓN
p: PRESIÓN TOTAL (bar)

En primer lugar, es necesario determinar la presión de saturación (p_s) a 24°C . Para ello se puede recurrir a la siguiente tabla:

Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Presión Saturación <i>mbar</i>	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Presión Saturación <i>mbar</i>	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Presión Saturación <i>mbar</i>
-20	1.029	+2	7.005	+24	29.82
-18	1.247	+4	8.129	+26	33.60
-16	1.504	+6	9.345	+28	37.78
-14	1.809	+8	10.70	+30	42.41
-12	2.169	+10	12.70	+32	47.53
-10	2.594	+12	14.01	+34	53.18
-8	3.094	+14	15.97	+36	59.40
-6	4.681	+16	18.17	+38	66.24
-4	4.368	+18	20.62		
-2	5.172	+20	23.37		
0	6.108	+22	26.42		

TABLA 1.03

De esta manera resulta que $p_s (24^{\circ}\text{C}) = 29.82\text{mbar} = 0.02982\text{bar}$. Para calcular el contenido de agua (X) se aplica la siguiente fórmula:

$$X = 0.622 \times \frac{(\varphi \times p_s)}{[p - \varphi \times p_s]} \times 1000 \text{ g/kg}$$

Donde:

- p = presión absoluta total (*bar*).
- φ = humedad relativa (de 0 a 1)
- p_s = presión de saturación del vapor (*bar*)

Ahora se puede leer la temperatura del punto de rocío en el diagrama de Mollier. Las líneas correspondientes a la saturación con $p=3\text{bar}$ y al contenido de agua $X=3.11\text{gr/kg}$ se cruzan en los 13°C . (Ver gráfico de la Figura 1.04)

1.6.2. Humedad relativa del aire (φ).

La humedad relativa del aire es la relación entre el contenido real de vapor de agua y el contenido máximo posible de vapor de agua en el aire (estado de saturación).

$$\varphi = \frac{\text{humedad absoluta del aire (w)}}{\text{humedad de saturación (w}_{\text{máx}})} \times 100$$

Considérese que cualquier cambio de temperatura provoca una modificación de la humedad relativa aunque se mantenga igual la humedad absoluta del aire.

1.6.3. Humedad máxima del aire ($w_{\text{máx}}$).

La humedad máxima del aire corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que contiene 1m^3 de aire (cantidad de saturación) a una determinada temperatura.

1.6.4. Humedad absoluta del aire (w).

La humedad absoluta del aire corresponde a la cantidad de vapor de agua realmente contenida en 1m^3 .

1.7. COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE AGUA DURANTE LA COMPRESIÓN.

Si, por ejemplo, se aspiran 7m^3 de aire atmosférico para comprimirlo y obtener 1m^3 de aire comprimido, se obtiene un excedente de 6 partes de agua que forman condensado (suponiendo que las temperaturas del aire aspirado y del aire comprimido son iguales). 1m^3 de aire comprimido no puede contener más humedad que 1m^3 de aire bajo presión atmosférica. Sin embargo, la cantidad de humedad que realmente contiene el aire comprimido depende de la temperatura del aire y de la presión. En la Figura 1.05 se puede leer la cantidad máxima de humedad. Después de ser comprimido, el aire se va enfriando y su capacidad de retención de vapor de agua es menor. En consecuencia, se produce condensado. La parte de agua que el aire sigue reteniendo, llega hasta los elementos funcionales de las unidades consumidoras. Por ello es recomendable instalar un filtro delante de las unidades consumidoras. Este filtro puede ser, por ejemplo, un filtro con efecto ciclónico. En este tipo de filtros, el aire es guiado por diversos deflectores para que ejecuten un movimiento giratorio, con lo que se enfría. El efecto centrífugo y el enfriamiento tienen como consecuencia la eliminación de condensado.

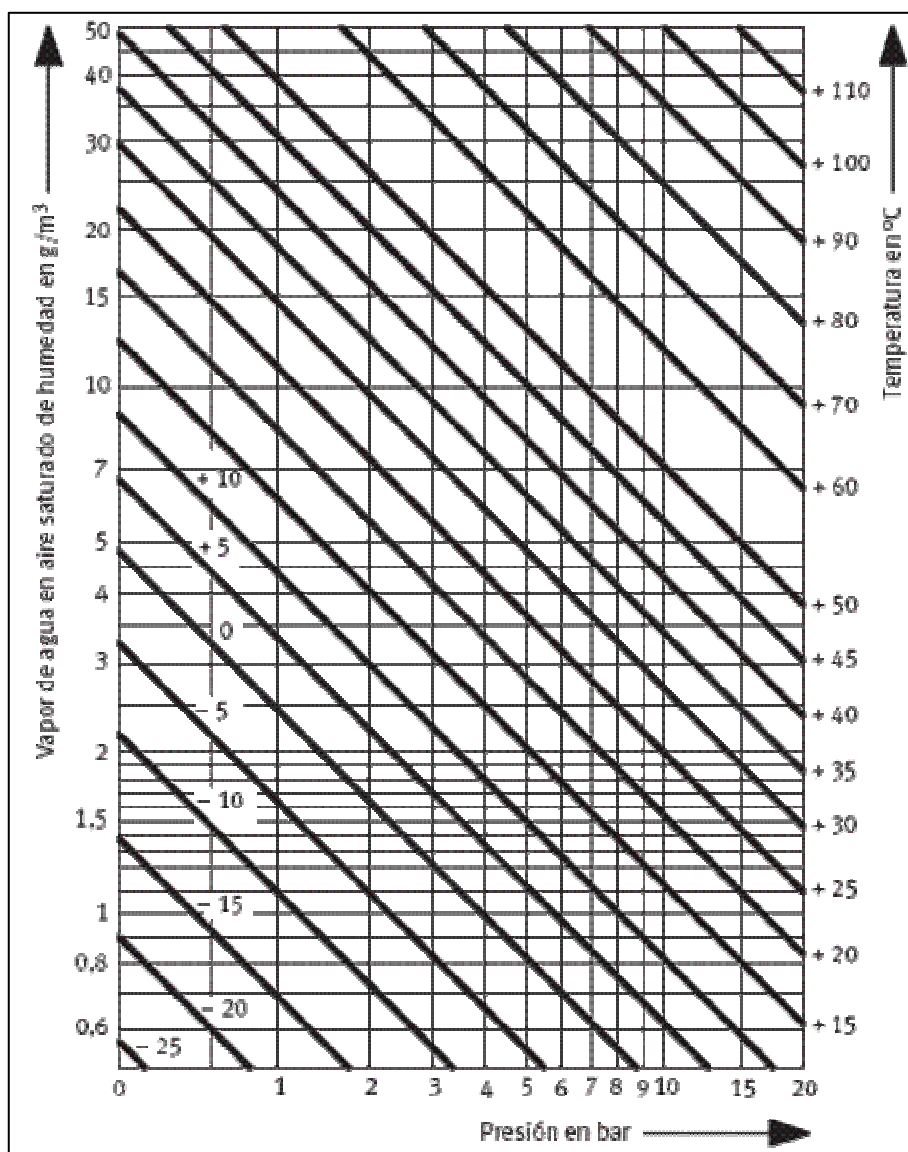


FIGURA 1.05
 CONTENIDO DE AGUA EN AIRE COMPRIMIDO EN FUNCIÓN
 DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN.

CAPÍTULO 2

2. PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

2.1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo que se persigue con la compresión de un gas (en este caso el aire) es aumentar su energía interna, con la intención de usarla conveniente y oportunamente.

Las máquinas que se usan con este propósito reciben el nombre genérico de *compresores* y se clasifican de la forma en que puede obtenerse dicha energía.

Se distinguen dos grandes grupos: los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos. (Véase Figura 2.01)

En los del primer grupo el aumento de presión se consigue disminuyendo el volumen de una determinada masa de gas.

En los del segundo, el concepto cambia, el aumento de presión surge como consecuencia del aumento de energía cinética, que ha conseguido comunicársele al gas.

Dentro de estos grandes grupos existen subgrupos con características bien definidas, en cuanto a su principio de funcionamiento y a su comportamiento.

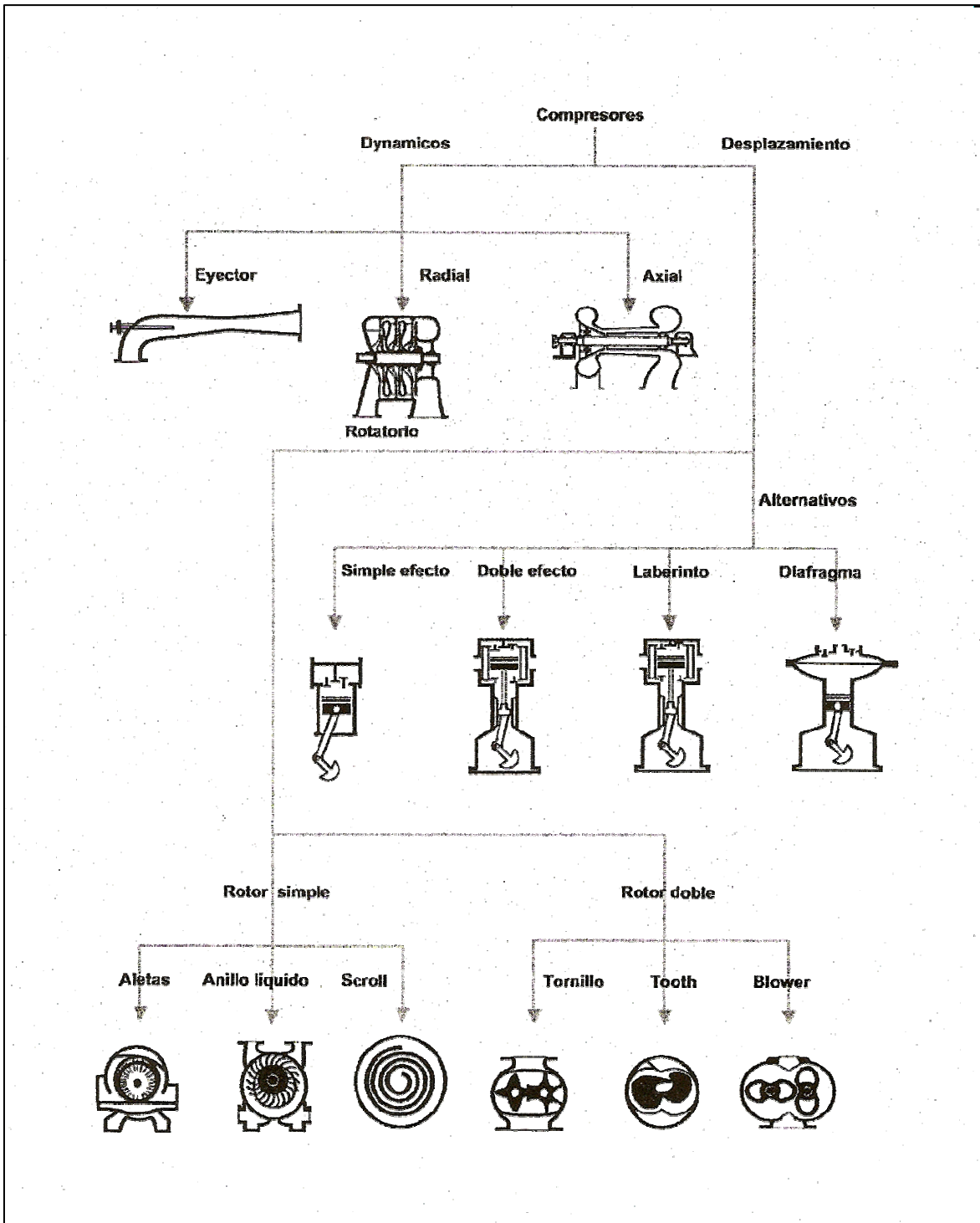


FIGURA 2.01
CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES.

2.2. COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

2.2.1. De acción rectilínea. Compresores de pistón.

Es el más conocido y difundido de los compresores. En el esquema de la Figura 2.02 se le ha representado en su versión más sencilla. Su funcionamiento es muy simple y consiste en encerrar en el cilindro una determinada cantidad de aire (que ha ingresado por la válvula de admisión), disminuir su volumen por desplazamiento del pistón y entregarlo al consumo (o almacenamiento) a través de una válvula de escape.

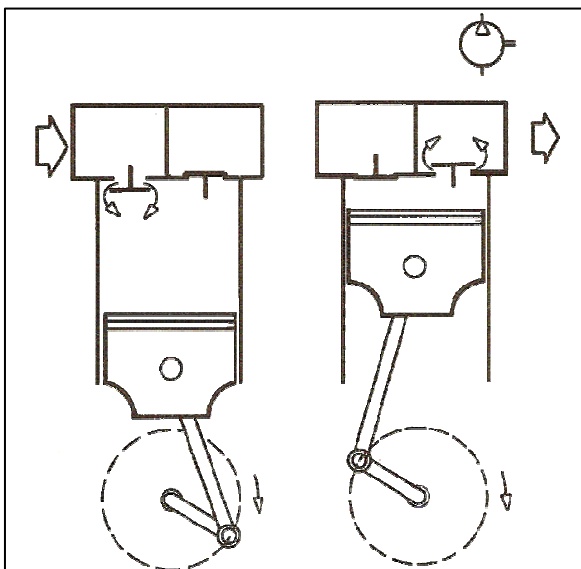


FIGURA 2.02
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
DE UN COMPRESOR MONOCILÍNDRICO

La Figura 2.02 corresponde a un compresor de una sola etapa, aunque es posible construir compresores de varias etapas. El más común es el compresor de dos etapas, mostrado la Figura 2.03 con construcción en V.

Puede observarse que entre la primera etapa, conocida generalmente como etapa de baja, y la segunda, conocida también como etapa de alta, existe la posibilidad de refrigerar el aire.

Esto suele aprovecharse para mejorar la prestación del compresor, ya que de no hacerlo el aire ingresaría caliente en el segundo cilindro y por lo tanto con menor masa por unidad de volumen.

Por otra parte, se descubre también que la segunda etapa “aspira” aire a mayor presión que la atmosférica. Si se acepta la idea de que por el compresor deberá circular la misma masa de gas al tiempo que se exige sobre las bielas un esfuerzo de magnitud comparable, resulta para la segunda etapa un volumen menor que para la primera.

Lo dicho, implica la utilización del movimiento alternativo en un solo sentido, sin embargo existen construcciones que permiten aprovechar los dos: el de ida y el de regreso.



FIGURA 2.03
COMPRESOR BICILÍNDRICO CON REFRIGERACIÓN
INTERMEDIA (DISPOSICIÓN EN “V”)

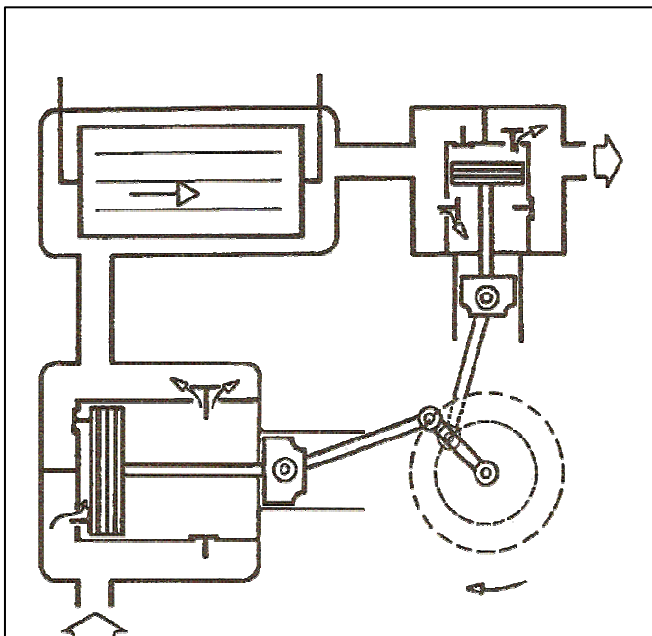


FIGURA 2.04
ESQUEMA DE UN COMPRESOR BICILÍNDRICO
CON REFRIGERACIÓN INTERMEDIA (DISPOSICIÓN EN "L")

lubricado". La misma situación se repite para todas las versiones de "pistón seco", es decir, sin lubricación.

La Figura 2.04 muestra un compresor de disposición en "L", de dos etapas, en el que se aprovechan los movimientos mencionados.

Las configuraciones existentes, en cuanto a compresores de pistón se refiere, son muy numerosas. En forma de breve reseña, se pueden citar algunas: monocilíndrico, en "V", en "W", opuestos, escalonados, en "L" y pendular.

Es interesante destacar que las construcciones vistas corresponden a todo un grupo de compresores llamados de "pistón

La principal característica de este tipo de compresores es que pueden producir aire comprimido exento de aceite, y por lo tanto puede elegirse para usos donde éste pueda resultar un contaminante del producto procesado (*En realidad el aire puede contener pequeñas cantidades de aceite en forma de aerosol. Este puede ser aspirado por el compresor aún en el caso de poseer un buen filtro de aspiración.*)

En realidad, los compresores de pistón tienen una posibilidad operativa muy amplia desde presiones moderadas y caudales insignificantes, hasta grandes presiones y grandes caudales (100MPa ; $6.94\text{m}^3/\text{s}$). Constituyen la solución formal para casi cualquier problema de compresión, por ese motivo son también los más difundidos.

2.2.2. Compresores de diafragma.

Pertencen al grupo de los desplazamientos rectilíneos y consisten en una membrana (o diafragma) capaz de modificar el volumen existente sobre ella por la acción de una corredera (pistón) solidaria a la misma desde la parte inferior.

El croquis de la Figura 2.05 aclara el principio de funcionamiento. Su principal característica es la de comprimir aire sin que exista la posibilidad de contaminarlos con el aceite de lubricación. Sus posibilidades se limitan a bajos caudales y presiones moderadas.

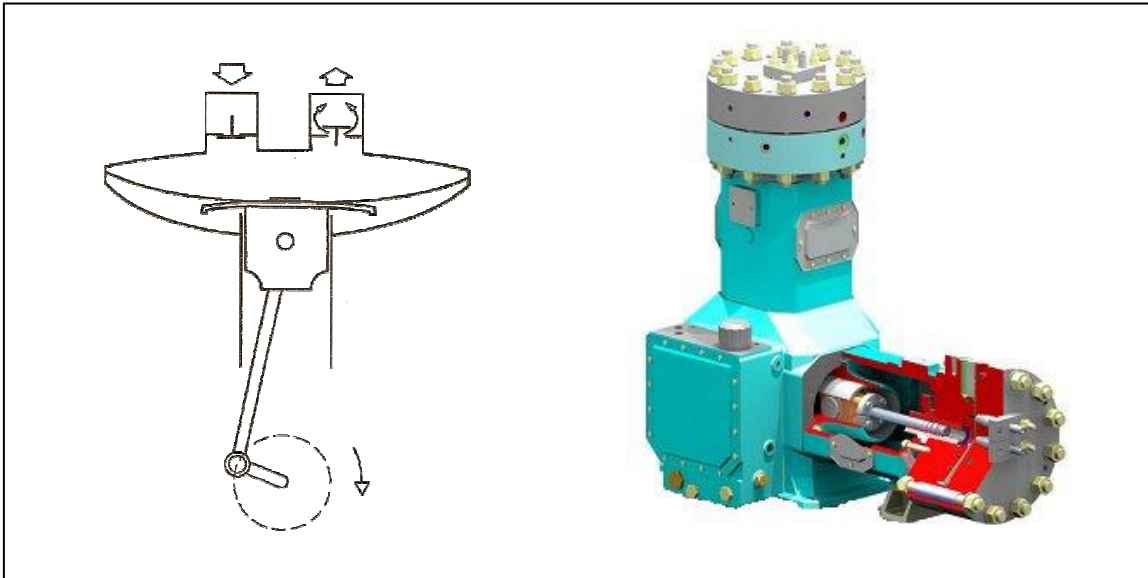


FIGURA 2.05 ESQUEMA DE UN COMPRESOR DE DIAFRAGMA (IZQUIERDA); COMPRESOR DE DIAFRAGMA (DERECHA)

2.3. COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO – ROTATIVOS.

2.3.1. De un rotor. Compresor de paletas.

Este compresor es de funcionamiento muy sencillo. Sus características constructivas también son simples.

Consiste esencialmente en un rotor, que gira excéntricamente dispuesto con respecto a un estator capaz de contenerlo (Figura 2.06). Sobre el primero, radialmente dispuestas, existen paletas que limitan un determinado volumen al “tocar” constantemente sobre el cuerpo (estator). Este volumen, como puede apreciarse, disminuye en tanto el giro progresa, desde la entrada hacia la salida consiguiéndose así la compresión.

Este tipo de compresores, tienen como principales características, marcha silenciosa, grandes caudales y presiones moderadas y fijas según su construcción.

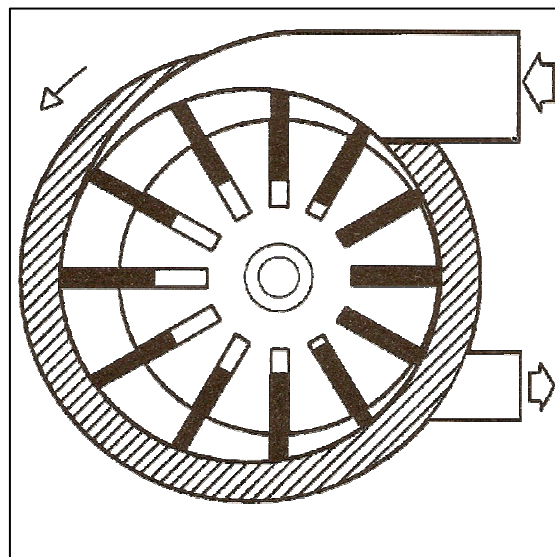


FIGURA 2.06 ESQUEMA DE UN COMPRESOR ROTATIVO DE PALETAS

2.4. DE DOS ROTORES.

2.4.1. Compresores de tornillo.

En la construcción de este tipo de compresores intervienen dos tornillos de características distintas, en cuanto a su perfil se refiere: uno es cóncavo y el otro es convexo.

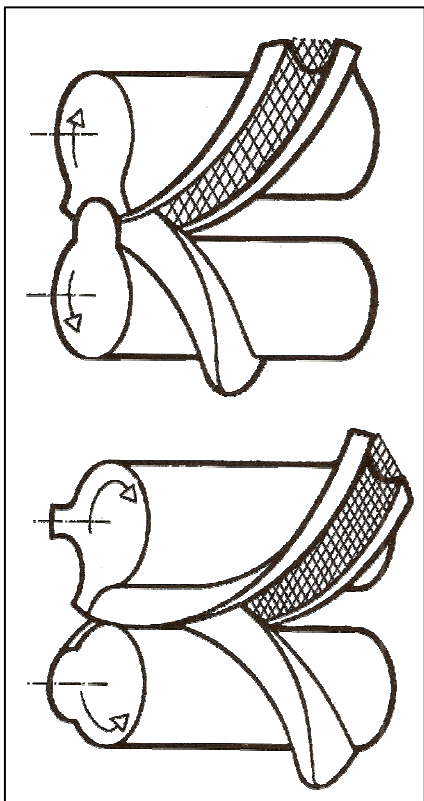


FIGURA 2.07
VISTA QUE MUESTRA CÓMO
TRABAJAN LOS FILETES DE UN
COMPRESOR DE DOS TORNILLOS

En la Figura 2.07 podemos apreciar, en perspectiva, cómo el filete de uno de los tornillos penetra casi completamente en el otro durante su rotación.

El arrastre del aire producido de esta forma, es lo que lo hace comprimirse y lo empuja a la salida.

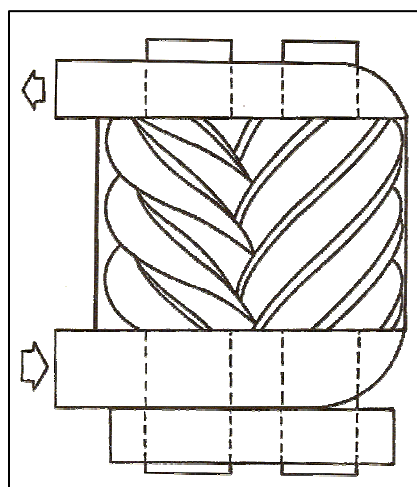
El aspecto de los tornillos, en realidad, se acerca bastante al croquis de la Figura 2.08.

La característica más importante de este tipo de compresor de tornillo es que su funcionamiento es relativamente silencioso, produce grandes caudales y su presión puede llegar a ser elevada dependiendo de su construcción.

En algunos casos suelen combinarse en dos “estaciones” de compresión, donde una alimenta a la otra (como el caso de los de pistón). De esta forma puede conseguirse presiones de hasta 22bar.

En general trabajan bajo una constante inyección de aceite, que tiene la función de sellador y refrigerante, aunque también existen los que trabajan en seco.

FIGURA 2.08
ESQUEMA DE UN COMPRESOR DE DOS
TORNILLOS



2.4.2. Compresores Root.

Este compresor presenta dos lóbulos cuyo perfil permite la rotación simultánea y la constante penetración de uno sobre otro.

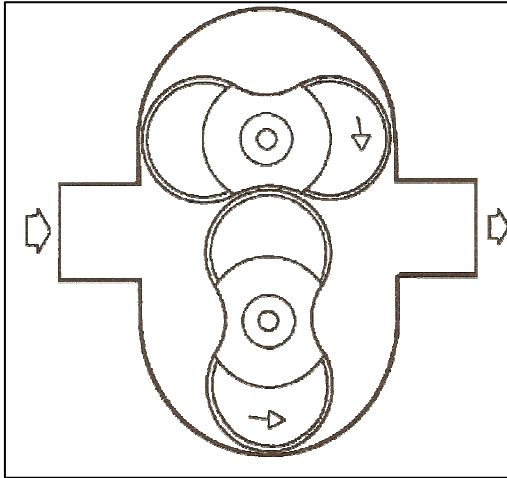


FIGURA 2.09
ESQUEMA DE UN COMPRESOR ROOT.

Esta situación hace que quede encerrado en forma sucesiva un determinado volumen de aire que disminuye hacia la salida a medida que el giro se produce. La Figura 2.09 muestra un croquis en el que se puede apreciar su funcionamiento.

Debido a la brusca disminución del volumen, estos compresores son muy ruidosos. Brindan un caudal significativamente alto, pero, a presiones muy bajas.

Es por esta característica que se le conoce más comúnmente como soplador Root y no suele utilizarse para automatización.

2.5. SELECCIÓN DEL COMPRESOR.

Los puntos que intervienen en la selección de un compresor son numerosos e importantes. Una muestra elemental bastará para tomar una idea: presión máxima y mínima pretendidas, caudal necesario, crecimiento previsto de la demanda, condiciones geográficas (altitud, temperatura, etc.), tipo de regulación, espacio necesario, tipo de refrigeración y accionamiento.

Cabe señalar que este tipo de inquietudes se orientan a definir un compresor estacionario, sin embargo no debe descartarse la posibilidad del uso de un compresor portátil. Esta situación se da en los casos de trabajo en terreno donde deben realizarse operaciones con la ayuda del aire comprimido. (En las canteras, donde deben perforarse boquetes para el explosivo se usan perforadoras neumáticas, que como es lógico, deben alimentarse con aire comprimido. Las unidades compresoras móviles sirven para estos casos. Generalmente la unidad motriz es un motor diésel. El equipo es totalmente autónomo.)

2.5.1. Presión.

La elección de la “presión máxima necesaria de utilización” es uno de los parámetros principales que permitirá la acertada elección del compresor.

La “presión máxima de utilización” la determina el equipo más exigente al que habremos de entregar aire.

La elección recaerá finalmente en aquel compresor que satisfaga la “máxima presión de utilización” a la vez que los requerimientos de otros parámetros.

2.5.2. Caudal.

Para seleccionar un compresor adecuado para la instalación, se deberá contemplar la hipótesis de consumos que se considere que va a ser la más habitual. Para establecer una hipótesis de consumos realistas hay que conocer con cierto detalle el uso habitual que se hace de todas las unidades consumidoras que alimentan la instalación. Por lo tanto, el caudal depende de los siguientes factores:

- Cantidad de unidades consumidoras y consumo de aire de cada una.
- Factor de simultaneidad.
- Pérdidas por desgaste de las unidades consumidoras y por fugas en la red.
- Duración de la conexión de las unidades consumidoras.

2.5.2.1. Coeficiente de uso (C_U).

La duración de conexión se expresa en porcentaje o como factor. Este criterio tiene en cuenta que la mayoría de las unidades consumidoras no está en funcionamiento constantemente. En la Tabla 2.01 se incluyen algunos valores de referencia para diversas unidades consumidoras.

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

TABLA 2.01

2.5.2.2. Coeficiente de simultaneidad (C_S).

El factor de simultaneidad también es un valor empírico. Las unidades consumidoras que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo. Ello significa que pueden aplicarse los factores de simultaneidad que se indican a continuación.

Cantidad de equipos	Coefficiente Simultaneidad C_s
1	1.00
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

TABLA 2.02

2.5.2.3. Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA}).

Normalmente se suele prever que el consumo puede aumentar hasta 30% en el futuro al añadir nuevas unidades consumidoras a la instalación. En este caso el coeficiente de mayoración será igual a 1.3.

2.5.2.4. Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF}).

Las fugas de aire son inherentes a toda instalación neumática. Se va a tratar de que el montaje de la instalación lo realice personal calificado y con material de calidad por lo que se va a cifrar este coeficiente en 1.05. (5%)

2.5.2.5. Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{CC}).

Es el coeficiente entre la duración total del ciclo de funcionamiento (tiempo entre arranques) y el tiempo en el que el compresor produce aire comprimido (compresor funcionando).

Aplicando estos coeficientes, el caudal que tiene que proporcionar el compresor es:

$$Q_{COMP} = C_S \times C_{MF} \times C_{MA} \times C_{CC} \times C_U \times \sum_{i=1}^n Q_{esp_i}$$

2.5.3. Accionamiento.

Otro de los temas a considerar en la elección es el accionamiento. Es prudente individualizar el lugar donde habrá de accionar el compresor para evitar contratiempos.

El accionamiento podrá ser un motor eléctrico compatible con el suministro del lugar utilizado o con motor de combustión interna, ya sea de ciclo Diésel o de ciclo Otto.

2.5.4. Refrigeración.

Cuando de refrigeración se trata, se deben estudiar dos conceptos que no se deben confundir. Uno de ellos corresponde a la refrigeración del equipo en sí y el otro a la refrigeración del gas que se está comprimiendo.

La refrigeración del equipo suele ser por aire o por agua.

- a) Por aire: Se reconoce este caso por la pared externa aletada de los cilindros. Normalmente se hace circular aire a través de dichas aletas.
- b) Por agua: El cilindro se encuentra rodeado por una camisa por la que circula agua. Esta posibilidad implica considerar la instalación complementaria: torre de enfriamiento, bombas, depósitos, etc.

En cuanto a la refrigeración del gas, en lo que al compresor respecta, aparece casi siempre en los casos que el compresor es multietapa. Es decir, se enfría el gas naturalmente calentado por la compresión, con el objeto de procesar más masa en la etapa siguiente y mejorar así su rendimiento.

2.5.5. Instalación.

En el caso de compresores estacionarios, es muy importante el lugar donde habrán de instalarse. Este debe ser aireado y amplio para permitir maniobras de mantenimiento con comodidad.

En cuanto a la fundación hay dos criterios; uno de ellos es amarrar el compresor a una base flotante de cemento armado cuyo peso supere, por lo menos, en cuatro veces el peso del equipo.

El otro es hacer un montaje flexible con base antivibratoria. Esta última es efectiva y económica.

CAPÍTULO 3

3. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.

3.1. INTRODUCCIÓN.

La idea de distribuir el aire comprimido es algo que surgió hace ya bastante tiempo. Una de las distribuciones más espectaculares que se hizo fue la que se llevó a cabo en París, allá por el año 1885. Ya en ese entonces hubo que enfrentar el problema que significa hacer llegar el aire comprimido a cada boca de consumo.

El asunto reviste bastante importancia pues con él están relacionados los siguientes temas: tipo de red, material de la tubería, tipos de unión, dimensiones, pérdidas de carga, accesorios, forma de montaje, etc. A continuación se da una idea de solución para cada uno de estos detalles.

3.2. REDES DE AIRE COMPRIMIDO.

Se reconoce como red de distribución de aire comprimido al sistema de tuberías que permite transportar la energía de presión neumática hasta el punto de utilización.

Estas tuberías se pueden clasificar de la siguiente forma:

3.2.1. Tubería principal.

Es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal.

3.2.2. Tubería secundaria.

Se derivan de la tubería principal para conectarse con las tuberías de servicio. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro.

3.2.3. Tubería de servicio.

Son las que surten en sí a los equipos neumáticos. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento (FRL). Debe procurarse no sobrepasar de 3 el número de equipos alimentados por una tubería de servicio. Con el fin de evitar obstrucciones, se recomiendan diámetros mayores de 1/4" en la tubería.

3.3. CONFIGURACIÓN DE LA RED.

Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido, tal como se muestra en la Figura 3.01.

- Red abierta.
- Red cerrada.
- Red interconectada.

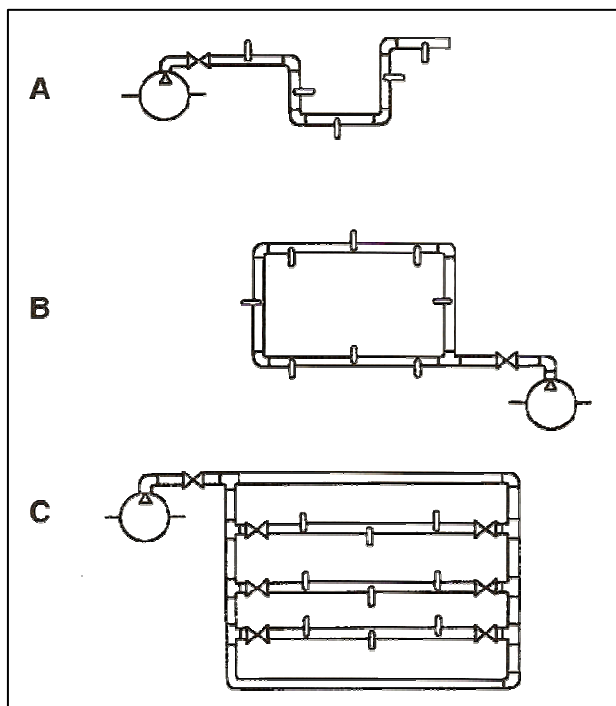


FIGURA 3.01
(A, B y C) REDES TÍPICAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

3.3.1. Red abierta.

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la Figura 3.01A. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados (de 1 a 2%). La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante una reparación, es posible que se detenga el suministro de aire “aguas abajo” del punto de corte, lo que implica una detención de la producción.

3.3.2. Red cerrada.

En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la Figura 3.01B. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la

producción. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (por ejemplo filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría. Cabe anotar que otro defecto de la red cerrada es la dificultad de eliminar los condensados debido a la ausencia de inclinaciones. Esto hace necesario implementar un sistema de secado más estricto en el sistema. Al contrario de lo pensado, la pérdida de carga en esta construcción es menor que en la anterior, esto debido a que una unidad consumidora estaría abastecida desde cualquiera de las dos direcciones posibles. Por tanto la principal razón para implementar redes cerradas es por su buen mantenimiento.

3.3.3. Red interconectada.

Esta configuración es igual a la cerrada, pero con la implementación de by-pass entre las líneas principales, tal como se muestra en la Figura 3.01C. Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento, pero requiere una inversión inicial más alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada.

3.4. SELECCIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS.

Para elegir el material de los tubos utilizados en redes de aire comprimido, se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Calidad del aire comprimido (tuberías resistentes a la corrosión, empalmes que no provoquen la acumulación de depósitos).
- Dimensiones de los tubos.
- Presión (poca pérdida de presión; máximo 0.1 bar); fugas mínimas.
- Condiciones del entorno (estabilidad a la incidencia de luz solar, resistencia a bacterias y a temperaturas tropicales).
- Trabajo de montaje (tendido sencillo de los tubos y montaje de los empalmes, utilización de herramientas y materiales especiales, necesidad de disponer de conocimientos especiales).
- Costos del material (válvulas y accesorios de alta calidad y robustos a precios económicos).
- Rigidez de los materiales (utilización de componentes auxiliares para el montaje, por ejemplo escuadras de montaje).
- Coeficiente de dilatación térmica del material.
- Experiencias y conocimientos en materia de las técnicas necesarias.

Las redes pueden estar constituidas de tubos de metal y/o material sintético. En las Tablas 3.01 y 3.02, se hace una comparación de las características

técnicas de tubos neumáticos de metal y de material sintético, y de las ventajas y desventajas de cada cual.

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo sintético
Ejecución	Negro o cincado.	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado.	Sin costura o soldado.	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos.	Recubierto o pintado.	Material blando enrollable hasta 100m. Material duro en unidades de hasta 3m.
Material	Por ejemplo, St 35.	Sin costura St 100. Soldado St 33.	Por ejemplo, WST 4301, 4541, 4571.	Cobre.	Aluminio, por ejemplo, resistente al agua salada.	Poliamida (PA, PUR, PE)
Dimensiones	10.2 hasta 558.8mm.	1/8 hasta 6 pulgadas.	6 hasta 273mm.	6 hasta 22mm suave. 6 hasta 54mm duro. 54 hasta 131mm duro.	12 hasta 40mm.	12 hasta 63mm.
Presiones	12.5 hasta 25bar.	10 hasta 80bar.	Hasta 80bar y en parte presión superior.	Según ejecución 16 hasta 140bar.	14bar (a -30°C hasta 30°C)	14bar (a -25°C hasta 30°C)
Extremo tubo	Liso.	Cónico, liso o rosca.	Liso.	Liso.	Liso.	Liso.
Uniones	Soldadura.	Racores, soldadura.	Soldadura (con gas protector).	Roscas, soldadura, racores.	Racores enchufables reutilizables.	Racores enchufables reutilizables.

TABLA 3.01

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo sintético
Ventajas	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 (por ejemplo, en aplicaciones en técnica médica)	Ausencia de corrosión, paredes interiores lisas, posibilidad de doblar.	Resistentes a roturas, ausencia de corrosión, pared interior lisa, ligero.	Ausencia de corrosión, flexible, ligero, resistente a los golpes, exento de mantenimiento, instalación sencilla, conexiones sencillas entre tubos flexibles.
Desventajas	Corrosión (tubos negros). Montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plásticos o aluminio.	Corrosión, en parte también en tubos cincados.	Montaje únicamente por operarios experimentados; oferta limitada de racores y accesorios, piezas costosas.	Montaje por operarios experimentados y especializados. Posibilidad de formación de calcantita.	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. (0.2mm/°C)

TABLA 3.02

3.5. ALMACENAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.

El aire comprimido es, quizás, la única forma de energía fácilmente almacenable. Suelen utilizarse para este propósito tanques o depósitos de muy variados tamaños.



FIGURA 3.02
TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Se puede advertir que si la demanda de aire fuera constante y se pudiera conseguir un compresor que satisfaga en forma continua esa demanda, no habría necesidad de almacenar energía; a excepción, claro está, de un determinado volumen adicional al de la instalación, que proporcionaría una cantidad de aire para accionamientos de seguridad, ante la eventual parada del compresor.

Como la realidad está lejos de presentarse en esta forma, es decir, la demanda es variable y comúnmente esa variación no sigue una ley determinada, es necesario conocer a partir de ciertos datos, cuál deberá ser el volumen del tanque de almacenamiento ya que este tiene como funciones específicas las siguientes:

- Almacenar aire comprimido para satisfacer peaks altos de demanda que excedan la capacidad del compresor.
- Favorecer el enfriamiento del aire y la precipitación del agua de condensación.
- Compensar las variaciones de presión en el consumo.
- Generar una frecuencia rentable de ciclos “entrada-salida” en el compresor.

El volumen dependerá, entonces, de:

- Del caudal del compresor.
- Del rango de regulación (ΔP =Diferencia entre la presión máxima y mínima del régimen). Este rango corresponde a la presión máxima que es capaz de suministrar el compresor y la presión mínima que se está dispuesto a regular la marcha del compresor (partidas del compresor).
- De la frecuencia del compresor (Z = partidas del compresor por hora).

Gracias al ábaco de la Figura 3.03 se puede calcular la capacidad del acumulador de aire libre (V_B).

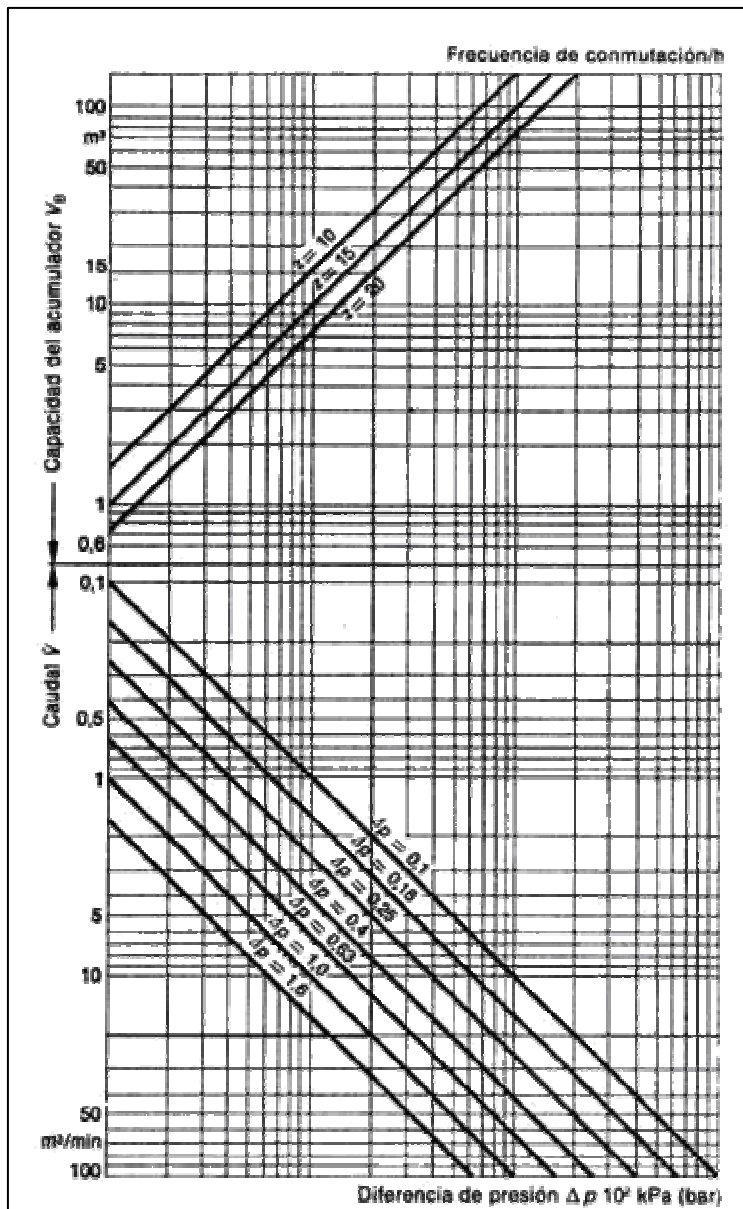


FIGURA 3.03 ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL ACUMULADOR EN m^3 DE AIRE LIBRE (V_B).

Obtenido este valor de V_B , se puede obtener la capacidad del estanque (V) con la siguiente fórmula.

$$V = V_B \times \left(\frac{p_{atm}}{p_{est.}} \right) m^3$$

3.5.1. Instalación.

El tanque o depósito de aire puede instalarse en varias posiciones. En la mayoría de los equipos importantes éste es instalado por separado y la posición más razonable es la vertical. Son varios los motivos que permiten sostener esta forma de instalarlo:

- Menor lugar ocupado.
- Favorece la precipitación del condensado.
- Permite su eliminación casi total.
- Con la misma estructura se consigue la altura de distribución.
- Menos área en contacto con el agua.

En condiciones especiales pueden instalarse varios tanques interconectados, adaptando el volumen del depósito al de los compresores afectados a la producción en ese momento.

Es importante que la conexión del compresor con el tanque debe ser flexible para evitar transmitir a la instalación vibraciones inoportunas.

3.6. CÁLCULO ELEMENTAL DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN.

Al diseñar una red de aire comprimido, es muy importante tener en cuenta las dimensiones de las tuberías. Por ello, es recomendable proceder de la siguiente manera:

- Definir el lugar en el que se montarán las unidades consumidoras.
- Definir la cantidad de unidades consumidoras, distinguiéndolas según su tipo y la calidad de aire que necesitan.
- Preparar una lista que incluye el consumo de aire de cada una de las unidades consumidoras.
- Determinar el consumo total, considerando la duración de la conexión, la simultaneidad de funcionamiento y las reservas necesarias para una posible posterior ampliación de la red.
- Confección del plano de las tuberías, incluyendo su longitud, los accesorios (derivaciones, codos, reductores) y los racores necesarios.

- Calcular la resistencia que se opone al caudal, convirtiendo la resistencia de los componentes en el equivalente de la resistencia en las tuberías en función de su longitud.
- Determinación de la pérdida de presión admisible.
- Determinar la longitud nominal de los tubos, a continuación, determinar su diámetro interior.
- Elección del material de los tubos.

El cálculo de una red de distribución de aire comprimido consiste solamente en la determinación del diámetro único que tendrá dicha tubería, en función de ciertos datos de partida que son:

- a) La presión máxima de régimen.
- b) El caudal máximo a utilizar.
- c) La pérdida de carga que se está dispuesta a tolerar en la instalación.
- d) La forma y dimensión de la red.

3.6.1. Presión máxima del régimen.

Ésta corresponde a la presión máxima que se tiene establecida para los compresores. Cada unidad consumidora tendrá cierta presión de trabajo (dada por el fabricante). De todas ellas, habrá algunas cuya presión máxima de trabajo será superior a las otras, por lo cual el compresor deberá ser capaz de entregar poco más de esta presión máxima (presión máxima del régimen). Frecuentemente este valor nunca excederá los 10bar en instalaciones de aire comprimido normales.

3.6.2. Caudal máximo a utilizar.

El caudal depende de los siguientes factores:

- Cantidad de unidades consumidoras y consumo de aire de cada una.
- Factor de simultaneidad (ya que no siempre todas las unidades consumidoras funcionan al mismo tiempo).
- Pérdidas por desgaste de las unidades consumidoras y por fugas en la red.
- Duración de la conexión de las unidades consumidoras.
- Posibles ampliaciones futuras.

3.6.3. Pérdidas de carga.

Por último se considerará la pérdida de carga (que se traducirá como una disminución de la presión).

La pérdida de carga o disminución de la energía útil se produce cuando el aire al circular “roza” con las paredes del tubo o cuando produce torbellinos en lugares donde la dirección cambia en forma brusca. Estos torbellinos consumen energía pero su trabajo no es aprovechable.

La pérdida total de carga es un valor que se elige como condición de diseño y que usualmente está entre 0.1bar y 0.2bar.

Se sobreentiende que las válvulas, accesorios, codos y similares ofrecen una resistencia mucho mayor al caudal. Para tener en cuenta estos componentes, se calcula con una longitud equivalente (ficticia) de la tubería y el resultado se suma a la longitud real de los tubos antes de calcular o determinar gráficamente el diámetro interior necesario de los tubos. En la Figura 3.04 se incluyen estas longitudes ficticias.



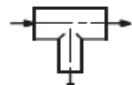

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros									
		Diámetro interior d del tubo en milímetros									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

FIGURA 3.04
RESISTENCIAS AL CAUDAL OCASIONADAS POR DIVERSOS TIPOS DE ACCESORIOS DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO, CONVERTIDAS EN LONGITUDES DE TUBOS (DATOS EN METROS)

Después de calcular las longitudes equivalentes y sumarlas a las longitudes de las tuberías, se procede a calcular el diámetro interior del tubo. Para ello puede utilizarse el nomograma de la Figura 3.05, incluyendo los puntos (1) hasta (7). El punto de intersección con la escala D en (8) indica el diámetro interior del tubo.

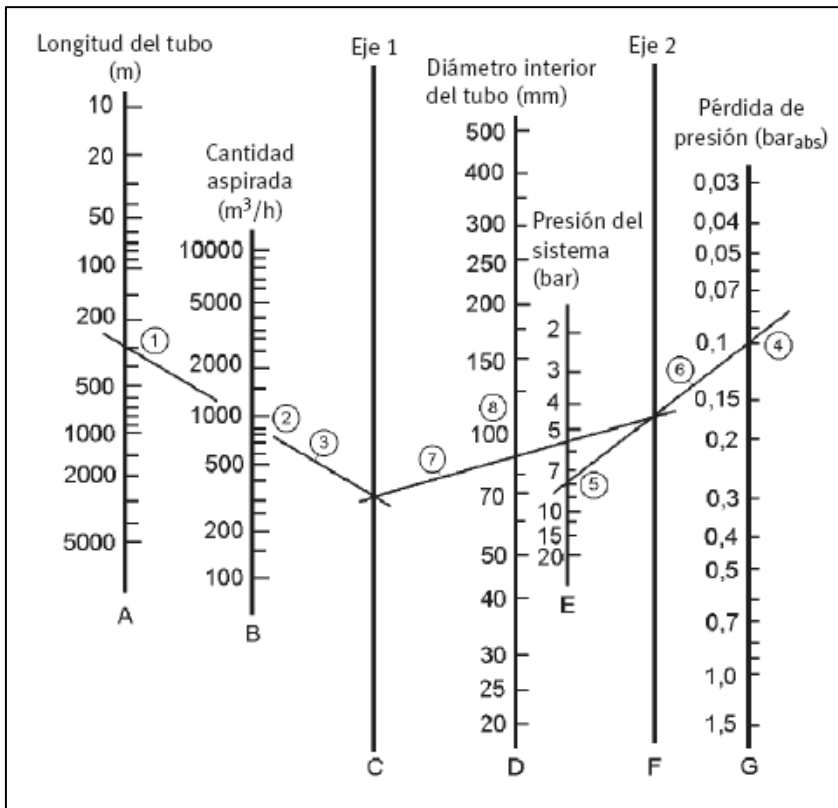


FIGURA 3.05
 NOMOGRAMA PARA EL
 CÁLCULO DE TUBERÍAS
 DE AIRE COMPRIMIDO.

También es posible calcular el diámetro interior del tubo utilizando la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt[5]{76.35 \times \left[\frac{L_t \times Q_n^{1.875}}{p_i^2 - p_f^2} \right]}$$

Donde:

p_i = Presión inicial en bar absolutos.

p_f = Presión final en bar absolutos.

L_t = Largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en metros.

Q_n = Caudal normal en m^3/h .

d = Diámetro interior del tubo en milímetros.

CAPÍTULO 4

4. TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos.

Mientras que la mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración, la separación fina, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación.

A la salida del depósito

- Secadores
 - a) Frigoríficos
 - b) Por absorción
 - c) Por adsorción
 - d) De membrana.

En los puntos de utilización

- Filtros
- Regulador de presión

4.2. PROCEDIMIENTOS DE SECADO.

El aire, al comprimirse, se calienta, por lo que es necesario montar un equipo de refrigeración del aire inmediatamente después del compresor. El calentamiento se produce porque el aumento de la energía necesaria para incrementar la presión de p_1 a p_2 implica un aumento de la temperatura de T_1 a T_2 . La temperatura se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

Pudiendo ser k desde 1.38 hasta 1.4; la temperatura en kelvin y presiones absolutas.

El aire siempre contiene una cantidad mayor o menor de vapor de agua. Sin embargo, el aire solo puede contener una cantidad limitada de agua (hasta la cantidad de saturación). Antes que el aire comprimido llegue a las unidades consumidoras, debe conseguirse que se condense la mayor cantidad posible del vapor de agua. Si no se utiliza un compresor exento de aceite, se obtiene una mezcla comprimida de aire y aceite. Ese aceite tiene que extraerse del aire mediante un separador y, a continuación, refrigerarse.

Para que los elementos de mando y los elementos funcionales neumáticos no se transformen en “elementos hidráulicos”, es recomendable secar el aire comprimido. El secado es el proceso más importante de la operación de preparación del aire. Secando bien el aire se evita la corrosión de los tubos y de los elementos neumáticos. El criterio que se aplica para medir el secado del aire es la temperatura del punto de condensación. Cuanto más alta es la temperatura del aire comprimido, más agua puede contener el aire (cantidad de saturación).

4.2.1. Secador frigorífico.

En muchos casos es suficiente recurrir al método de secado por frío. En ese caso, la temperatura del aire disminuye por efecto de un agente refrigerante. Así se forma condensado y disminuye el contenido de agua del aire. Tal como se puede apreciar en la Figura 4.01, el aire se refrigera al fluir en el sentido contrario de un agente refrigerante. Este proceso de refrigeración suele realizarse en varias fases (refrigeración previa aire-aire y refrigeración principal aire-agente refrigerante). El punto de condensación es de aproximadamente $+1,5^{\circ}\text{C}$. Si la temperatura de la red no baja de 3°C , la red de aire comprimido ya no contiene agua. El proceso de secado por refrigeración genera aproximadamente un 3% de los costos energéticos totales correspondientes a la generación de aire comprimido. Para conseguir un ahorro mayor, puede recurrirse a secadores modernos con compresor de agente refrigerante y con regulación de las revoluciones. Este compresor adapta la cantidad del agente refrigerante circulante a la cantidad de aire que en cada momento tiene que secarse.

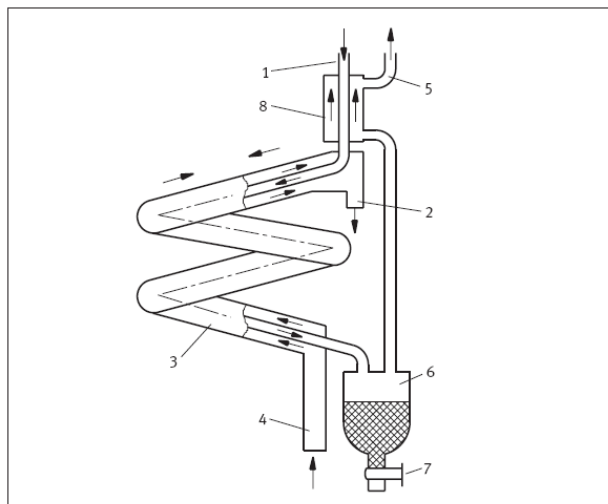


FIGURA 4.01
SECADOR
FRIGORÍFICO.

1. Toma de aire comprimido.
2. Salida del agente refrigerante.
3. Intercambiador de calor.
4. Entrada del agente refrigerante.
5. Salida de aire comprimido.
6. Separador de condensado.
7. Salida de agua.
8. Secador previo.

4.2.2. Secador por absorción.

En el caso del secado por absorción, una sustancia química atrae la humedad que termina disolviéndose en ella. La sustancia química es una solución salina a base de NaCl. Se trata de un secador de construcción sencilla, tal como se puede apreciar en la Figura 4.02. Cabe observar, sin embargo, que la sustancia química se consume. 1kg de sal es capaz de retener aproximadamente 13kg de condensado. Ello significa que es necesario rellenar constantemente la sustancia salina. Con este sistema, el punto de condensación puede ser de máximo -15°C . También es posible utilizar otros agentes refrigerantes, tales como glicerina, ácido sulfúrico, tiza deshidratada y sal de magnesio hiperacidificado.

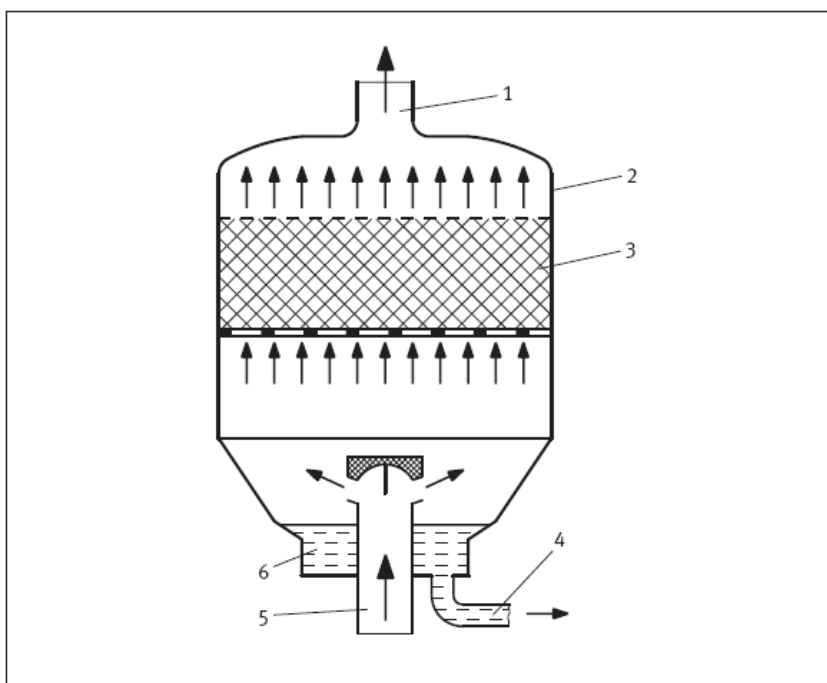


FIGURA 4.02
PRINCIPIO DE
FUNCIONAMIENTO
DEL SECADOR POR
ABSORCIÓN

1. Aire comprimido seco
2. Contenedor
3. Sustancia salina
4. Salida del condensado
5. Aire (húmedo) proveniente del compresor
6. Depósito de condensado

4.2.3. Secador por adsorción.

En el proceso de secado por adsorción, las moléculas del gas o del vapor se enlazan debido a las fuerzas moleculares. El agente secante es un gel (por ejemplo, gel silícico) que también se consume, aunque es regenerable. Por ello se necesitan dos depósitos de secado (deposito con dos cámaras) para que los procesos de secado (A) y de regeneración (B) se lleven a cabo simultáneamente. La regeneración puede conseguirse en frío o caliente. Los secadores con regeneración del agente en frío cuestan menos, pero su funcionamiento es menos rentable. En la Figura 4.03 se aprecia un secador con regeneración por calor. Los dos secadores se activan alternativamente y según el tipo de agente secador que se utilice, se alcanzan puntos de condensación de hasta -70°C . También hay secadores por adsorción que utilizan filtros moleculares (silicatos de metal y aluminio o zeolitas) en calidad de agentes de secado. Al igual que todas las

sustancias adsorbentes, estos filtros tienen una gran superficie interior (capilaridad). También en este caso es posible regenerar los filtros cargados de moléculas de agua (desorción).

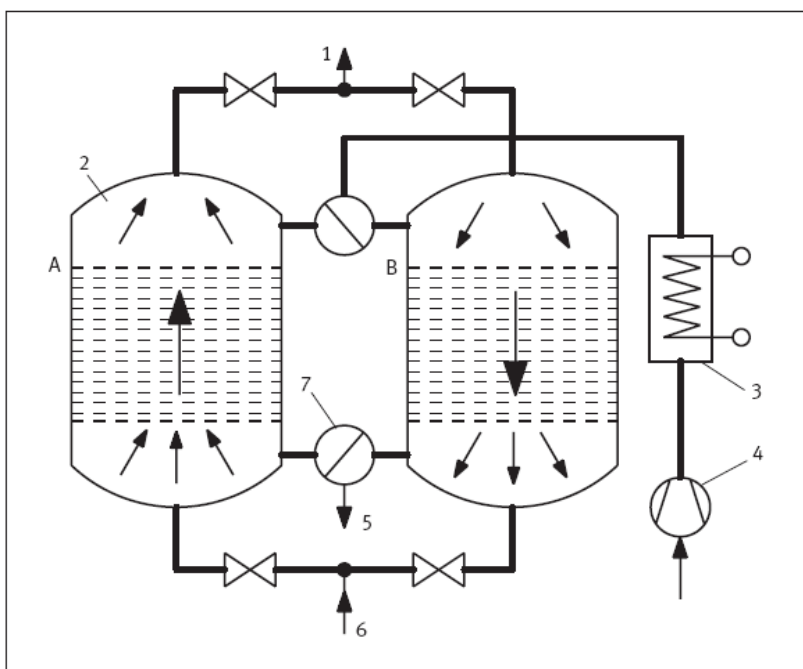


FIGURA 4.03
PRINCIPIO DE
FUNCIONAMIENTO
DEL SECADOR POR
ADSORCIÓN

1. Aire seco
2. Torre de secado
3. Calentador
4. Ventilador
5. Aire caliente
6. Aire húmedo
7. Válvula

4.2.4. Secador de membrana.

Los secadores de membrana están compuestos por un haz de fibras huecas permeables al vapor y que está circundado de aire seco que no está sometido a presión. El secado se produce a raíz de la diferencia parcial de presión entre el aire húmedo en el interior de las fibras huecas y el flujo en sentido contrario del aire seco (Figura 4.04). El sistema procura crear un equilibrio entre la concentración de vapor de agua en ambos lados de la membrana. Las fibras huecas son de material exento de silicona y están recubiertas de una ínfima capa que constituye la superficie de la membrana como tal. Las membranas pueden ser porosas u homogéneas. Las membranas homogéneas solo permiten el paso de determinadas moléculas, como por ejemplo las de vapor de agua. En ese caso, no cambia el contenido de oxígeno y de aceite. El aire seco de enjuague se obtiene derivando parte del aire que ya fue sometido al proceso de secado. Este constante consumo de aire de enjuague reduce la eficiencia del secador. Debido a su principio de funcionamiento, estos secadores se utilizan preferentemente en tramos parciales de la red o en sus puntos finales.

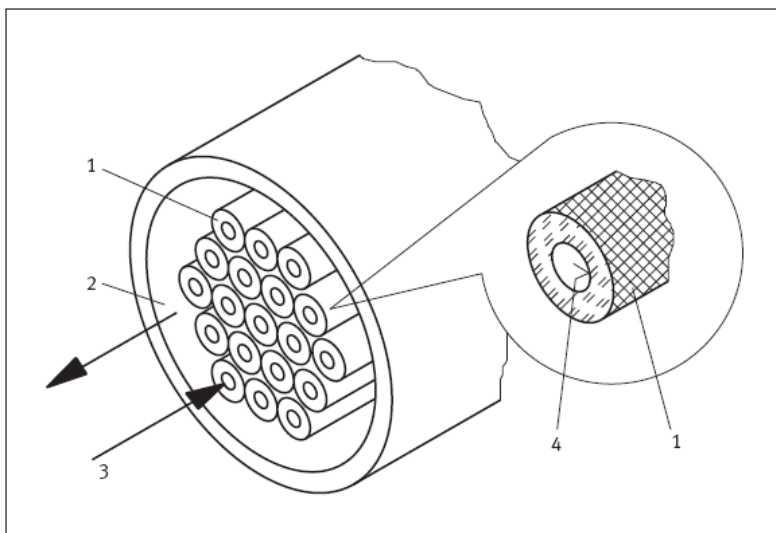


FIGURA 4.04
PRINCIPIO DE
FUNCIONAMIENTO
DEL SECADOR DE
MEMBRANA

1. Fibra hueca
2. Aire de enjuague
3. Entrada de aire húmedo
4. Membrana

Se elige un tipo de secador de acuerdo al caudal nominal de aire, presión de trabajo y punto de rocío deseado. Para ello se puede recurrir al siguiente gráfico de la Figura 4.05.

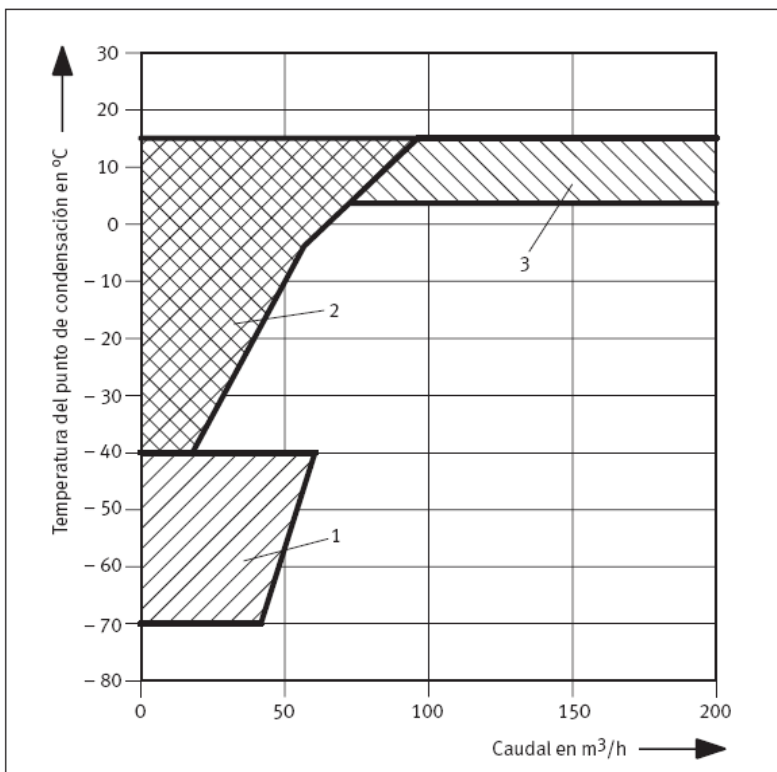


FIGURA 4.05
CAMPOS DE APLICACIÓN
DE DIVERSOS TIPOS DE
SECADORES (SEGÚN
HOERBIGER-ORIGA)

1. Secador por adsorción
2. Secador de membrana
3. Secador por frío hasta
1 000 m³/h

4.3. FILTRACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.

Desde hace más de 100 años se utilizan filtros de aire, lo que significa que han experimentado una larga evolución. Originalmente se empleaban tejidos para filtrar. La elección del filtro apropiado es fundamental para la calidad del aire. Para obtener aire comprimido de alta calidad, es necesario prever varias fases de filtración. Un solo filtro “fino” no es suficiente para obtener aire de calidad satisfactoria.

4.3.1. Clasificación de los filtros.

- Filtro:

Los filtros comunes son capaces de retener partículas de tamaños superiores a $40\mu m$ o a $5\mu m$, según su grado de filtración y el tipo de cartucho filtrante.

- Microfiltro:

Estos filtros retienen partículas de tamaños superiores a $0.1\mu m$.

- Filtro submicrónico:

Estos filtros pueden retener partículas de tamaños superiores a $0.01\mu m$. Sin embargo, antes de pasar por estos filtros, el aire tiene que haber pasado previamente por otro, capaz de retener partículas de hasta $5\mu m$.

- Filtro de carbón activo:

Estos filtros son capaces de retener partículas a partir de $0.003\mu m$, lo que significa que pueden retener sustancias aromatizantes u odoríferas.

4.3.2. Contenido de aceite en el aire comprimido.

La utilización de equipos neumáticos en determinados sectores industriales (por ejemplo, en la industria farmacéutica o alimentaria o en cabinas de pintura) exige el uso de aire comprimido sin aceite. El problema consiste en el aceite residual contenido en el aire comprimido proveniente del compresor. Incluso utilizando compresores exentos de aceite, el aire contiene aerosoles oleosos que crean cierto grado de aceite residual. Este aceite puede taponar los elementos sensibles de los componentes de la red y, además, enjuagar o dañar la lubricación que dichos componentes tienen de fábrica.

El contenido de aceite en el aire comprimido se puede comentar en los siguientes términos:

- Aire comprimido con poco contenido de aceite:

Este es el caso normal, después de haber pasado el aire por un filtro capaz de retener partículas de máximo 1 hasta $20\mu m$. Esta categoría corresponde a la calidad de aire utilizado para efectuar mediciones, respirar y trabajar, siempre y cuando cumpla con los requisitos específicos en cada caso.

- Aire comprimido técnicamente sin contenido de aceite:

En este caso, el contenido de aceite residual es de 0.3 hasta $0.01mg/m^3$, lo que significa que se trata de aire comprimido apropiado para cualquier aplicación técnica. Para conseguir aire de esta calidad tienen que utilizarse filtros micrónicos.

- Aire comprimido absolutamente exento de aceite:

En el proceso de preparación del aire comprimido, el aire que entra en el compresor ya está exento de aceite. El contenido de aceite del aire comprimido es inferior a $0.003mg/m^3$. Esta calidad se obtiene únicamente mediante el uso de filtros de carbón activo.

4.4. SELECCIÓN DE FILTROS.

Para seleccionar el filtro más adecuado, se puede recurrir al esquema que se presenta a continuación, donde se dan a conocer, el tipo de calidad de aire (humedad, aceite, polvo, bacterias).

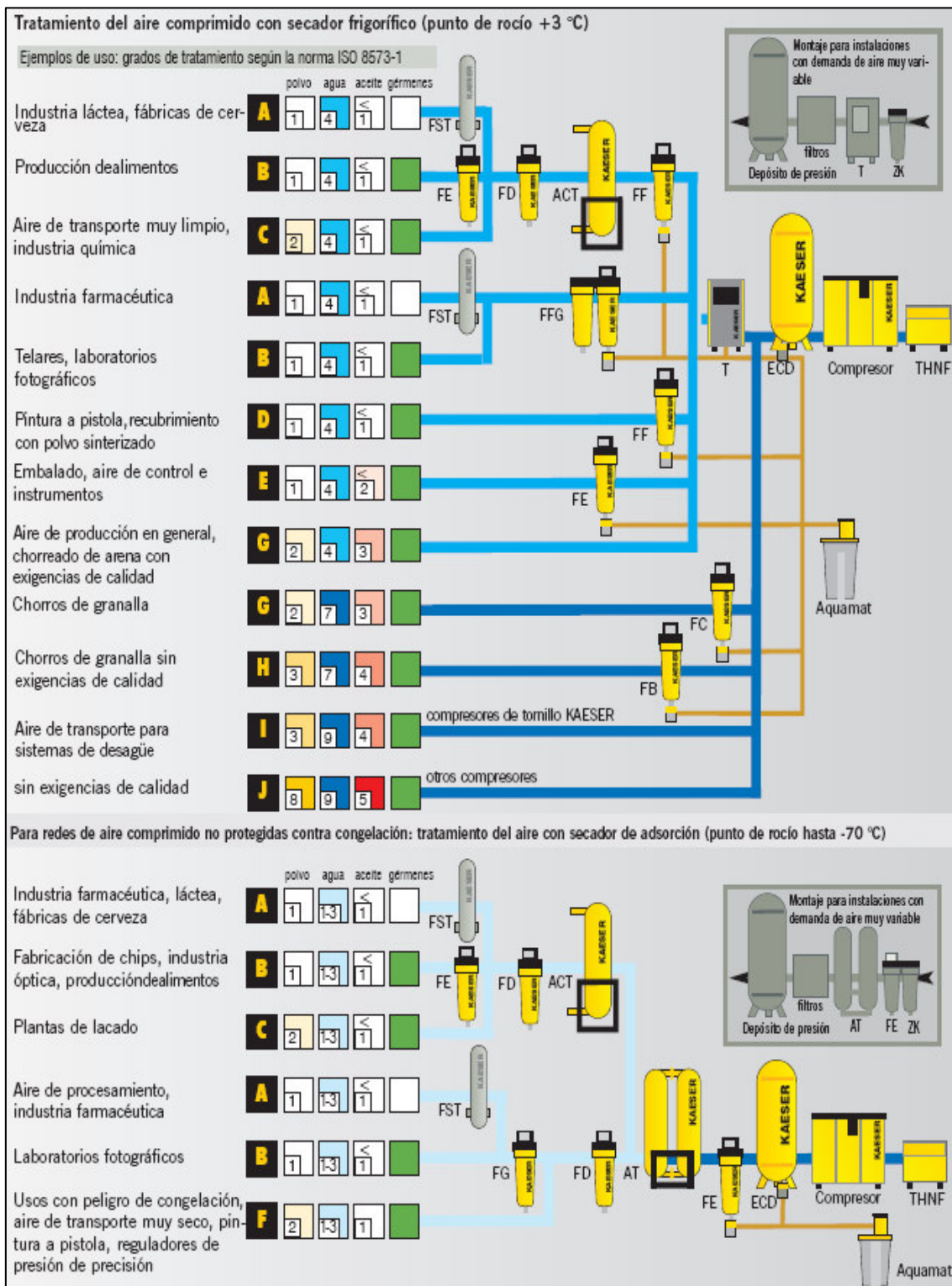


FIGURA 4.06
 TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO SEGÚN NORMA ISO 8573 - 1
 Se debe elegir de acuerdo al grado de tratamiento

+	polvo -
+	agua/condensado -
+	aceite -
+	gérmenes -

FIGURA 4.07
SUSTANCIAS
EXTRAÑAS AL AIRE
COMPRIMIDO

ISO 8573-1 clase	Partículas sólidas/polvo						Humedad	Total Cont. aceite	
	n° máx. de partículas por m ³ partículas con d (μm)						punto de rocío (x=agua en g/m ³ líquido)	mg/m ³	
	<0,1	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0	μm	mg/m ³			
	según necesidades del cliente								
0	-	100	1	0	-	-	≤ -70 °C	≤ 0,01	
1	-	100000	1000	10	-	-	≤ -40 °C	≤ 0,1	
2	-	-	10000	500	-	-	≤ -20 °C	≤ 1,0	
3	-	-	-	1000	-	-	≤ +3 °C	≤ 5,0	
4	-	-	-	20000	-	-	≤ +7 °C	-	
5	-	-	-	-	≤ 5	≤ 5	≤ +10 °C	-	
6	-	-	-	-	≤ 40	≤ 10	x ≤ 0,5	-	
7	-	-	-	-	-	-	0,5 < x ≤ 5,0	-	
8	-	-	-	-	-	-	5,0 < x ≤ 10,0	-	
9	-	-	-	-	-	-		-	

FIGURA 4.08
GRADO DE FILTRACION
SEGÚN ISO 8573 - 1

4.5. REGULADORES DE PRESIÓN.

Los reguladores de presión tienen la función de mantener constante el nivel de la presión secundaria (que lleva hacia las unidades consumidoras), independientemente de las oscilaciones que se producen en el circuito principal (presión primaria). Si varía la presión secundaria, el funcionamiento de los elementos de mando y de los actuadores varía de modo inaceptable. Si la presión de funcionamiento es demasiado alta, aumenta el desgaste y el consumo de energía es menos eficiente. Si la presión de funcionamiento es demasiado baja, el rendimiento disminuye y, con frecuencia, las unidades consumidoras no funcionan correctamente. En términos generales, la parte de trabajo de la red debe tener una presión de 6bar, mientras que la parte de los mandos necesita 4bar. En la Figura 4.09 se muestra la construcción de una válvula reguladora de presión de aire comprimido.

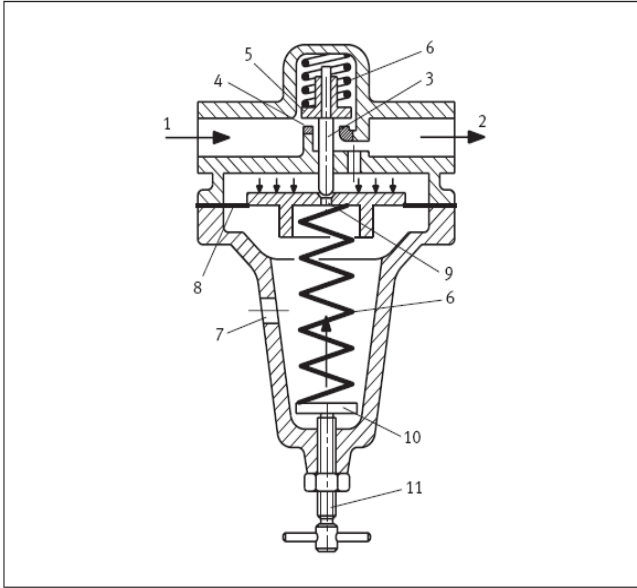


FIGURA 4.09
VÁLVULA
REGULADORA DE PRESIÓN

1. Aire comprimido sin regular
2. Aire comprimido regulado
3. Varilla
4. Sección anular
5. Plato de la válvula
6. Muelle de compresión
7. Taladro de escape
8. Membrana
9. Taladro de descarga
10. Platillo del muelle
11. Pomo roscado

CAPÍTULO 5

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.

5.1. INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto tiene por finalidad suministrar aire comprimido a ciertas unidades consumidoras para el nuevo edificio del Instituto Profesional Virginio Gómez de la ciudad de Concepción.

Esta instalación será para el sexto piso de este recinto, donde estarán ubicados los laboratorios dentales, clínicas dentales y otras dependencias que requieren aire comprimido, además del octavo piso, donde se ubicará la sala de compresores y tratamiento para el aire comprimido.

Se muestran a continuación las plantas de los pisos sexto y octavo según los planos de arquitectura diseñados previamente.

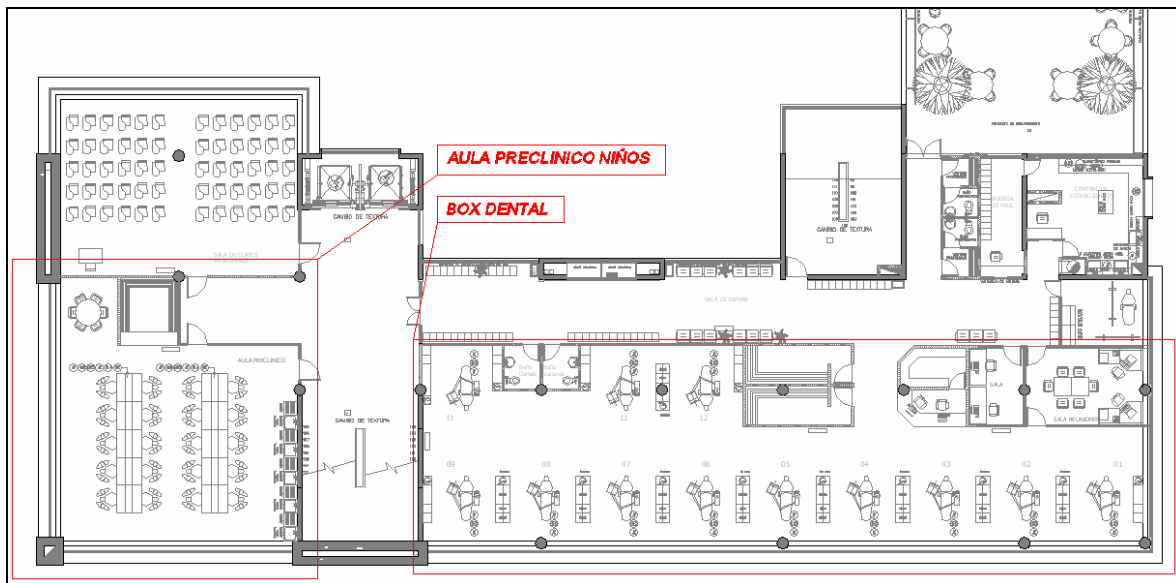


FIGURA 5.01
PLANTA ARQUITECTURA SEXTO PISO

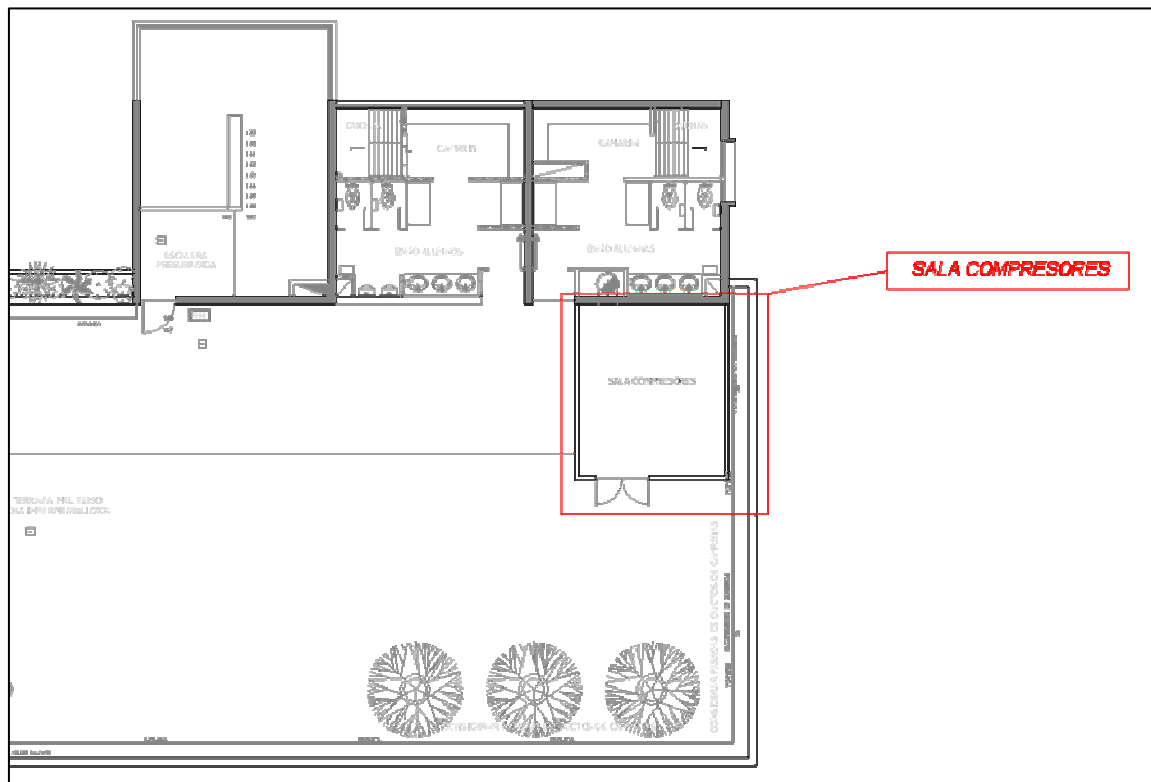


FIGURA 5.02
 PLANTA ARQUITECTURA OCTAVO PISO (AZOTEA).

5.2. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO A SUMINISTRAR.

Debido a que el aire comprimido será utilizado para fines dentales, se deberá tener en consideración la calidad del aire comprimido a suministrar, por lo tanto este aire deberá ser del tipo absolutamente exento de aceite, el cual se consigue mediante la utilización de filtros de carbón activo.

Basándose en la clasificación de la Tabla 4.06, "Tratamiento de aire comprimido según norma ISO 8573-1", la que más se acerca a los requerimientos del presente proyecto será la industria farmacéutica, clase A.

5.3. UNIDADES CONSUMIDORAS.

Según los planos de arquitectura ya definidos, se utilizarán en la red de aire comprimido las unidades consumidoras que se mencionan a continuación.

- Sillones dentales.
- Equipos dentales para niños.

5.3.1. Sillones dentales.

Se utilizarán 12 sillones dentales ubicados en el Box Dental. Las características técnicas de cada sillón dental son las siguientes:

- Marca : Nardi & Herrero
- Consumo : 100l/min
- Presión de trabajo : 5bar

5.3.2. Equipos dentales para niños.

Se utilizarán 20 de estos puestos de trabajo para la atención dental especial de niños, que estarán ubicados en el Aula Preclínico Niños. Las características técnicas de cada puesto de trabajo son las siguientes:

- Consumo : 60l/min
- Presión de trabajo : 3bar

5.4. CRITERIOS GENERALES PARA LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

- La red contará con un compresor exento de aceite (la selección del tipo específico del compresor es tema del siguiente capítulo).
- La línea de aire comprimido constará de filtros con carbón activo, secador de aire, estanque acumulador, reguladores de presión y purgas automáticas para suministrar aire comprimido a la presión adecuada y con la calidad de aire que necesita el proyecto.
- La red de aire comprimido será de tipo abierta, esto debido al menor costo de las tuberías y por razones estéticas, ya que según arquitectura todas las tuberías del recinto (incluida la red de aire comprimido) van a la vista.
- Como la pérdida de carga en tuberías es un factor de diseño que está determinada en literatura de neumática, y varía entre 0.1 y 0.2bar, (ver punto 3.6.3) se ha decidido utilizar para este proyecto el valor de 0.15bar.

CAPÍTULO 6

6. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

6.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se procederá a calcular la red de aire comprimido, que incluye los boxes dentales y el aula preclínico para niños del sexto piso del edificio en cuestión (ver Figura 5.01).

Se realizarán los cálculos del diámetro de la tubería principal, la pérdida de carga en el sistema, cálculo del compresor, cálculo del estanque acumulador, el secador y la selección de los equipos necesarios para el suministro del aire comprimido.

6.2. CÁLCULO DE TUBERÍAS.

6.2.1. Diámetro de las tuberías.

El cálculo de la red de aire comprimido, tiene por finalidad determinar el diámetro interior de las tuberías donde circulará el aire a presión para suministrar a cada unidad consumidora. Para ello se realizará el cálculo mediante el método analítico, es decir, por medio de la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt[5]{76.35 \times \left[\frac{L_t \times Q_n^{1.875}}{p_i^2 - p_f^2} \right]}$$

Donde:

p_i = Presión inicial en bar absolutos.

p_f = Presión final en bar absolutos.

L_t = Largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en metros.

Q_n = Caudal normal en m^3/h .

d = Diámetro interior del tubo en milímetros.

6.2.1.1. Procedimiento de cálculo.

A fin de calcular el diámetro interior de las tuberías, se procede a separar el circuito en tramos definidos (ver el isométrico de la Figura 6.01). En cada tramo se conoce el caudal demandado por cada unidad consumidora, la presión de trabajo, la longitud y la pérdida de carga dada (de diseño) que es de 0.15bar.

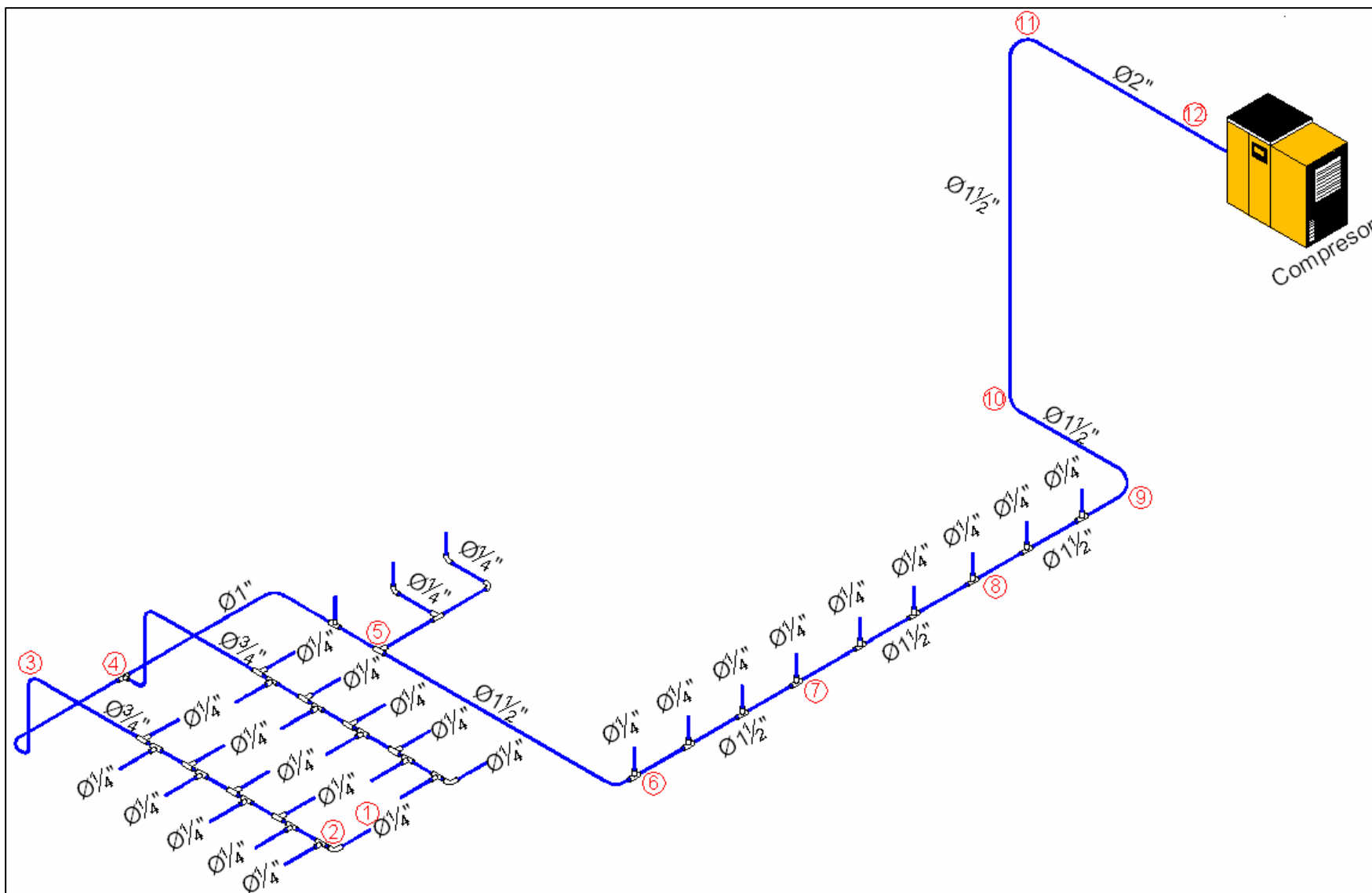


FIGURA 6.01
VISTA ISOMÉTRICA DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

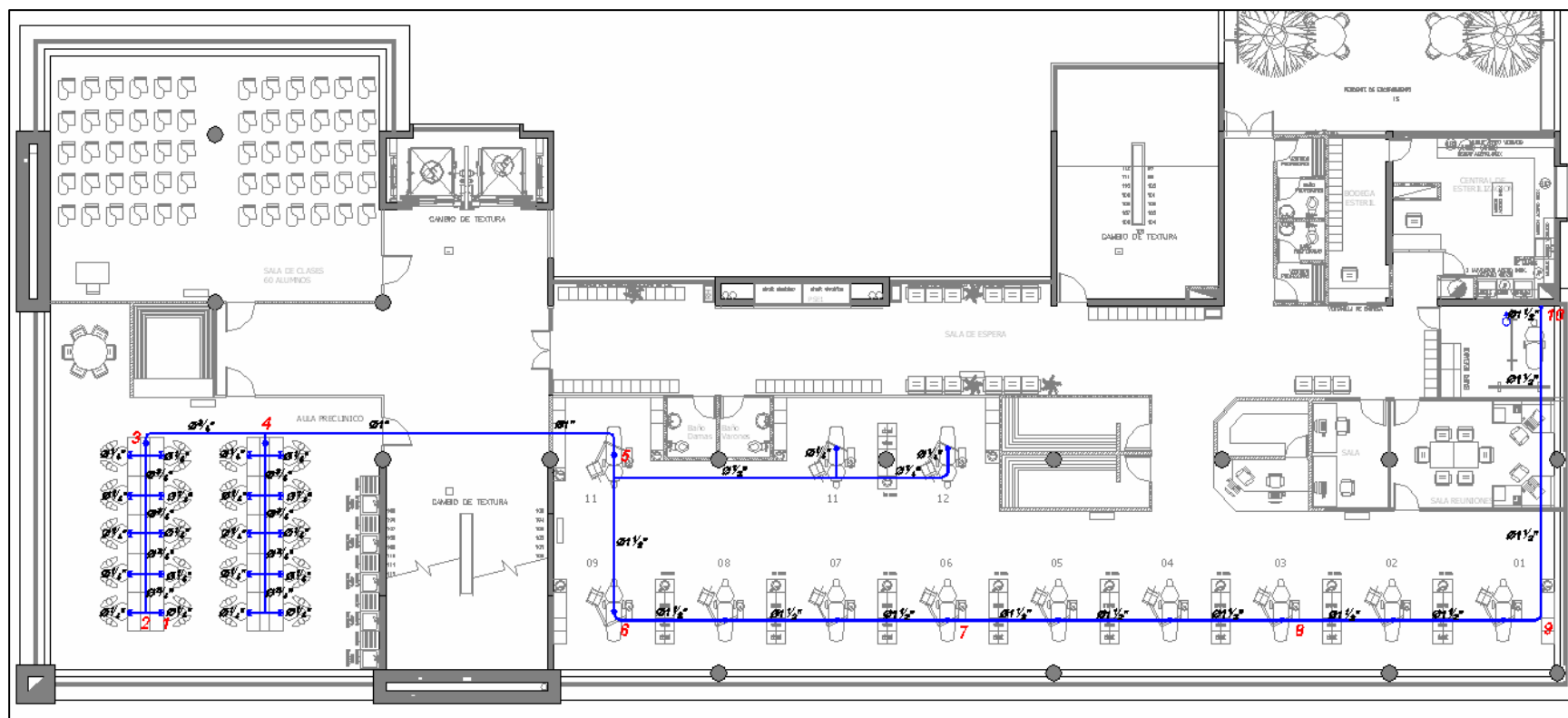


FIGURA 6.02
VISTA EN PLANTA DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

En la tabla 6.01 se aprecian los resultados obtenidos.

Tramo (Figura 6.01)	Caudal $Q \text{ m}^3/h$	Longitud Tubería m	Presión final $P_f \text{ bar}$	Presión inicial $P_i \text{ bar}$	Diámetro mm	Diámetro "
1 a 2	3.6	0.6	3.00	3.15	4	1/7
2 a 3	36	4.9	3.15	3.30	13	1/2
3 a 4	36	5.4	3.30	3.45	13	1/2
4 a 5	72	11.6	3.45	5.00	12	1/2
5 a 6	90	4.9	5.00	5.15	16	2/3
6 a 7	108	10.6	5.15	5.30	20	4/5
7 a 8	126	10.4	5.30	5.45	21	5/6
8 a 9	138	6.9	5.45	5.60	20	4/5
9 a 10	144	11	5.60	5.75	22	7/8
10 a 11	144	6.1	5.75	5.90	20	7/9
11 a 12	144	3.9	5.90	6.05	18	5/7

TABLA 6.01 CÁLCULO DE DIÁMETROS PRELIMINARES

En cada tramo de esta red existen diversos accesorios, ya sean tes, codos, válvulas, reductores, etc. A continuación se sumará a la longitud de la tubería la longitud ficticia que corresponde a cada tipo de accesorio en el tramo, para así obtener la longitud equivalente. Para esto se recurre a la tabla de la Figura 3.04.

Con este dato adicional, se recalcula el diámetro de la tubería, como ya se había realizado anteriormente. Los resultados se aprecian en la tabla 6.02.

Tramo	Caudal $Q \text{ m}^3/h$	Longitud Tubería m	Longitud Equiv. m	Longitud total $L_t \text{ m}$	Presión Final $P_f \text{ bar}$	Presión Inicial $P_i \text{ bar}$	Diámetro mm	Diámetro "
1 a 2	3.6	0.6	0.90	1.50	3.00	3.15	4	1/6
2 a 3	36	4.9	7.58	12.48	3.15	3.30	15	3/5
3 a 4	36	5.4	2.46	7.86	3.30	3.45	14	1/2
4 a 5	72	11.6	3.03	14.63	3.45	5.00	12	1/2
5 a 6	90	4.9	4.50	9.40	5.00	5.15	19	3/4
6 a 7	108	10.6	7.00	17.60	5.15	5.30	22	7/8
7 a 8	126	10.4	5.55	15.95	5.30	5.45	23	1
8 a 9	138	6.9	3.70	10.60	5.45	5.60	22	6/7
9 a 10	144	11	3.10	14.10	5.60	5.75	23	1
10 a 11	144	6.1	1.40	7.50	5.75	5.90	21	4/5
11 a 12	144	3.9	2.86	6.76	5.90	6.05	20	4/5

TABLA 6.02 CÁLCULO DE DIÁMETROS TEÓRICOS

6.2.1.2. Normalización de los diámetros.

Los diámetros calculados en la Tabla 6.02 no siempre es posible encontrarlos en el comercio, por lo que deben ajustarse a diámetros normalizados. Por lo tanto los diámetros de cada tramo de tubería finalmente son los siguientes:

Tramo (Figura 6.01)	Diámetros teóricos "	Diámetros normalizados "
1 a 2	1/6	1/4
2 a 3	3/5	3/4
3 a 4	1/2	3/4
4 a 5	1/2	1
5 a 6	3/4	1 1/2
6 a 7	7/8	1 1/2
7 a 8	1	1 1/2
8 a 9	6/7	1 1/2
9 a 10	1	1 1/2
10 a 11	4/5	1 1/2
11 a 12	8/9	2

TABLA 6.03
DIÁMETROS NORMALIZADOS

6.2.2. Selección de material y uniones para las tuberías.

6.2.2.1. Material.

Existe una amplia gama de materiales para tuberías de aire comprimido en el mercado, por lo cual se debe seleccionar el tipo de material adecuado a los requerimientos del presente proyecto.

En las Tablas 3.01 y 3.02 se mencionan los materiales para la construcción de redes de aire comprimido y sus ventajas y desventajas.

Por lo tanto, y en base a lo anteriormente expuesto, se ha decidido seleccionar tuberías de cobre.

Entre las bondades de este material se resaltan las diversas dimensiones en la cual está disponible en el comercio, la presión que pueden soportar (hasta 140bar), posibilidad de soldar o unir con racores, y lo más importante la ausencia de corrosión en la tubería.

Dentro de las tuberías de cobre, existen tres tipos: Tipo L, Tipo K y Tipo M.

Se seleccionará para el proyecto cañerías de cobre Tipo L. Esto debido a la presión que pueden soportar:

- Ø 1/4" ► hasta 70.5bar.
- Ø 2" ► hasta 28.06bar.

6.2.2.2. Uniones para las tuberías.

Como se seleccionaron tuberías de cobre, se podrán escoger dos tipos de uniones: roscada o soldada.

Se escoge unión soldada por ser más hermética. Claro está, que el montaje de estas uniones la deberán realizar operarios experimentados y especializados.

6.3. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.

Anteriormente se había señalado que se utilizaría una pérdida de carga de diseño de 0.15bar. Sin embargo, este valor sólo es aplicable a cada tramo de tuberías.

Ahora se calculará la pérdida de carga de toda la red. De modo que el compresor pueda satisfacer la demanda de presión a la cual será utilizado.

Para calcular las pérdidas de carga se utilizará la siguiente ecuación:

$$p_i^2 - p_f^2 = \frac{76.35 \times L_t \times Q_n^{1.875}}{D^5}$$

Donde:

- p_i : Presión inicial en *bar* absolutos.
- p_f : Presión final en *bar* absolutos.
- L_t : Largo total (incluyendo las longitudes equivalentes) en *m*.
- Q_n : Caudal normal, en m^3/h .
- D : Diámetro interior del tubo en *mm*.

Realizando un procedimiento similar al efectuado en el ítem anterior, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tramo	Caudal Q m ³ /h	Diámetro mm	Diámetro "	Longitud total L _t m	Presión Final P _f bar	Presión Inicial P _i bar
1 a 2	3.6	6.35	¼	1.50	3.00	3.35
2 a 3	36	19.05	¾	12.48	3.35	3.91
3 a 4	36	19.05	¾	7.86	3.91	4.36
4 a 5	72	25.40	1	14.63	4.36	5.00
5 a 6	90	38.10	1 ½	9.40	5.00	5.32
6 a 7	108	38.10	1 ½	17.60	5.32	5.84
7 a 8	126	38.10	1 ½	15.95	5.84	6.20
8 a 9	138	38.10	1 ½	10.60	6.20	6.53
9 a 10	144	38.10	1 ½	14.10	6.53	6.91
10 a 11	144	38.10	1 ½	7.50	6.91	7.19
11 a 12	144	50.80	2	6.76	7.19	7.32

TABLA 6.04
PÉRDIDAS DE CARGA PARA LA RED.

6.4. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL COMPRESOR.

Para el cálculo del compresor, tanto la presión máxima como el caudal total a suministrar por el compresor, serán factores fundamentales a considerar.

Para esto, se recurre a la siguiente fórmula:

$$Q_{COMP} = C_S \times C_{MF} \times C_{MA} \times C_{CC} \times C_U \times \sum_{i=1}^n Q_{esp_i}$$

Donde:

C_S : Coeficiente de simultaneidad. Dependerá del número de equipos conectados a la red. Según el número de equipos conectados en la red, e interpolando los datos de la Tabla 2.02, el C_S en este caso es 0.56.

C_{MF} : Coeficiente de mayoración por fugas. En este caso es de 5% (1.05).

C_{MA} : Coeficiente de mayoración por futuras ampliaciones. En este caso es de 30% (1.30).

C_{CC} : Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor. En este caso es de 1.

C_U : Coeficiente de uso. Para este caso, es de 100% (1.00).

Q_{esp} : Caudal de cada unidad consumidora, en l/min. Ver Tabla 6.05.

Equipos	Cantidad	Q _{esp.i} l/min	Q _{consumo} l/min
Clínica niños	20	60	2400
Sillones dentales	12	100	
	32		

TABLA 6.05
CAUDALES POR UNIDAD CONSUMIDORA EN RED.

Con estos datos, se calcula el caudal que debe suministrar el compresor:

Coef. de simultaneidad C_S	Coef. de mayoración por fugas C_{MF}	Coef. de mayoración por futuras ampliaciones C_{MA}	Coef. de ciclo de funcionamiento del compresor C_{CC}	Coef. de uso C_U	Consumo habitual de la instalación $Q_{CONSUMO}$	Caudal proporcionado por el compresor $Q_{COMPRESOR}$	
0.56	1.05	1.3	1	1	2400	1835	l/min
						31	l/s
						1.86	m ³ /min

TABLA 6.06
CAUDAL A SUMINISTRAR POR EL COMPRESOR DE LA RED.

6.4.1. Selección del compresor.

El compresor tendrá que ser capaz de suministrar un caudal de 1835l/min, y con una presión mínima de 7.32bar, según lo expuesto en las Tablas 6.04 y 6.06.

Según catálogo KAESER “Oil-free. Reciprocating Compressors. DENTAL Series”:

Modelo	Caudal	Presión	Punto rocío bajo presión	Dimensiones	Potencia motor	Peso	Nivel Ruido
$W \times D \times H$							
SK 24 T	2200l/min	8bar	3°C	1335x704x1200 mm	15kW	380kg	65 dB(A)

TABLA 6.07
COMPRESOR SELECCIONADO PARA LA RED.



FIGURA 6.03
COMPRESOR SK 24T DE TORNILLO.
MARCA KAESER.

Es muy importante destacar que el compresor seleccionado incorpora tanto el secador como el enfriador, por lo cual no se hace necesario calcular estos equipos adicionales para la red de aire comprimido.

6.5. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Para calcular la capacidad del tanque de almacenamiento, se recurre al gráfico de la Figura 3.03. Pevio a esto se necesita conocer el caudal a suministrar por el compresor, en m^3/min , el rango de regulación (Δp =diferencia entre la presión máxima y mínima del régimen) y la frecuencia del compresor (Z =partidas del compresor por hora).

Entonces:

- Caudal a suministrar por el compresor: $1.86m^3/min$.
- Rango de regulación: $0.15bar$.
- Frecuencia del compresor: $20h^{-1}$.

Con estos datos, y gracias al gráfico del la Figura 3.03, se obtiene la capacidad del acumulador de aire libre: $8m^3$.

Con este dato se ingresa a la fórmula:

$$V = V_B \times \left(\frac{p_{atm}}{p_{est.}} \right) m^3$$

Con los siguientes datos:

- $V_B = 8m^3$
- $p_{atm} = 101325Pa$
- $p_{est} = 841235Pa$

$$V = 8 \times \left(\frac{101325}{841235} \right) = 0.96m^3$$

Este valor se aproxima a $1m^3$, con la cual se procede a su selección.

6.5.1. Selección del tanque de almacenamiento.

Para este caso, el tanque se selecciona a partir del volumen calculado (capacidad) en el ítem anterior. Por lo tanto, según catálogo “Depósitos de aire comprimido” de KAESER, el tanque seleccionado consta de las siguientes características técnicas.

Volumen depósito	Sobrepresión máx.	Superficie galvanizada	Versión	Altura	Diámetro	Tubos entrada/salida	Peso
1000l	11bar	Sí	Vertical	2265mm	800mm	2 x G1 1/2" ; 2 x G2	215kg

TABLA 6.08
CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO SELECCIONADO.

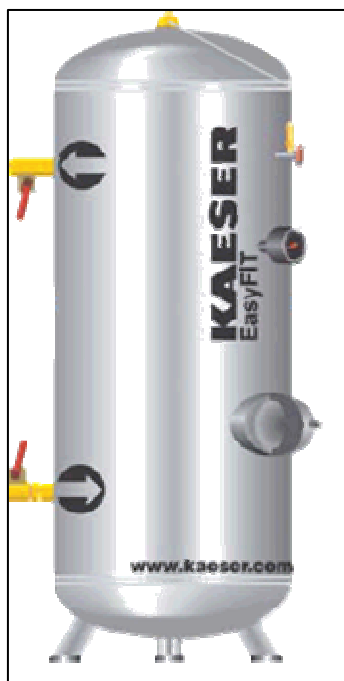


FIGURA 6.04
TANQUE DE ALMACENAMIENTO
MARCA KAESER.

6.6. SELECCIÓN DE LOS FILTROS.

Anteriormente se mencionó el tipo de filtro a utilizar para el presente proyecto. Estos deben ser filtros de carbón activo, ya que como se trata de abastecer a sillones dentales se debe colocar énfasis en la selección de estos.

Según la Figura 4.06 (Tratamiento de aire comprimido según norma ISO 8573-1) para calidad de aire de industria farmacéutica, en la red de aire comprimido se distinguen tres filtros, los que son:

- Filtro FFG (Combinación de filtros FF y FG).
- Filtro FST.

6.6.1. Microfiltro FFG.

Este filtro es en realidad una combinación de microfiltro y carbón activo FFG, cuyas características son:

Tipo de filtro	Combinación de microfiltro y carbón activo FFG
Tamaño de las partículas interceptables	$>0.01 \mu m$
Contenido residual de aerosol	$\leq 0.001 mg/m^3$
Contenido residual de vapor de aceite	$\leq 0.003 mg/m^3$ (técnicamente exento de aceite)
Presión diferencial en estado nuevo	0.21 bar

TABLA 6.09
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO FFG.



FIGURA 6.05
FILTRO FFG MARCA KAESER.
SE APRECIAN TANTO EL MICROFILTRO COMO EL
FILTRO DE CARBÓN ACTIVO.

Para la selección del filtro se recurre a dos parámetros importantes, que son el flujo que pasa por este y la presión a la cual se someterá el filtro, por lo tanto, se tiene:

- Caudal : $1.86 m^3/min$
- Presión : $8 bar$

Como la presión no coincide con los modelos en catálogos se procede a aplicar un factor de conversión para otras presiones de servicio:

- Factor de conversión (a $8 bar$): 1.13
- Caudal corregido : $1.86 \times 1.13 = 2.1 m^3/min$

El filtro que se selecciona será marca KAESER, con las características técnicas respectivas:

Modelo	Flujo	Peso	Elemento filtración 1ª Etapa	Elemento filtración 2ª Etapa	Cantidad
FFG - 28	2.83m ³ /min	8.7 kg	E - F - 28	E - G - 28	1

TABLA 6.10
CARACTERISTICA FILTRO FFG-28

6.6.2. Filtro bacteriológico FST.

Este filtro es del tipo estéril, esta fabricado con acero inoxidable de alta calidad, resistente a la corrosión, de manera que los microorganismos no pueden multiplicarse en su superficie. El elemento de filtración FST esta confeccionado con borosilicato sin aglutinantes y especialmente se utiliza en industrias farmacéuticas, técnica médica y clínicas.

Tipo de filtro	Filtro estéril FST
Grado de eficacia	100% estéril
Temperatura de servicio	+ 200°C
Presión diferencial en estado nuevo	0.12bar
Medio de filtración	Borosilicato exento de aglutinantes (prefiltración, microfibra no tejida)

TABLA 6.11
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO FST.



FIGURA 6.06
FILTRO BACTERIOLÓGICO FST
MARCA KAESER

Para la selección del filtro se procede de forma similar al caso anterior.

- Caudal : $1.86m^3/min$
- Presión : $8bar$

Como la presión no coincide con los modelos en catálogos se procede a aplicar un factor de conversión para otras presiones de servicio:

- Factor de conversión (a $8bar$): 1.1
- Caudal corregido : $1.86 \times 1.1 = 2.04m^3/min$

El filtro que se selecciona será marca KAESER, con las características técnicas respectivas:

Modelo	Flujo	Peso	Elemento filtración	Cantidad
F 12 P-ST	$2.83m^3/min$	1.9kg	04/20 P-ST	1

TABLA 6.12
CARACTERÍSTICA FILTRO FFG-28

6.7. SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN.

Se tendrá en cuenta la existencia de sólo un regulador de presión en el tramo 4-5 de la red (Ver Figura 6.01), esto debido a que en el Aula Preclínico Niños existirán puestos de trabajo que funcionarán a una presión de $3bar$.

Por lo tanto se deberá seleccionar un regulador de presión. Para ello se recurre al catálogo “Automación neumática” de VIGNOLA, sección II.

Marca	Modelo	Conexión	Flujo	Rango regulación
Norgren	R-17-A00-RGLA	1 1/4 “	$576m^3/h$	0.34 a $8.6bar$

TABLA 6.13
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE REGULADOR DE PRESIÓN NORGREN.



FIGURA 6.07
REGULADOR DE PRESIÓN

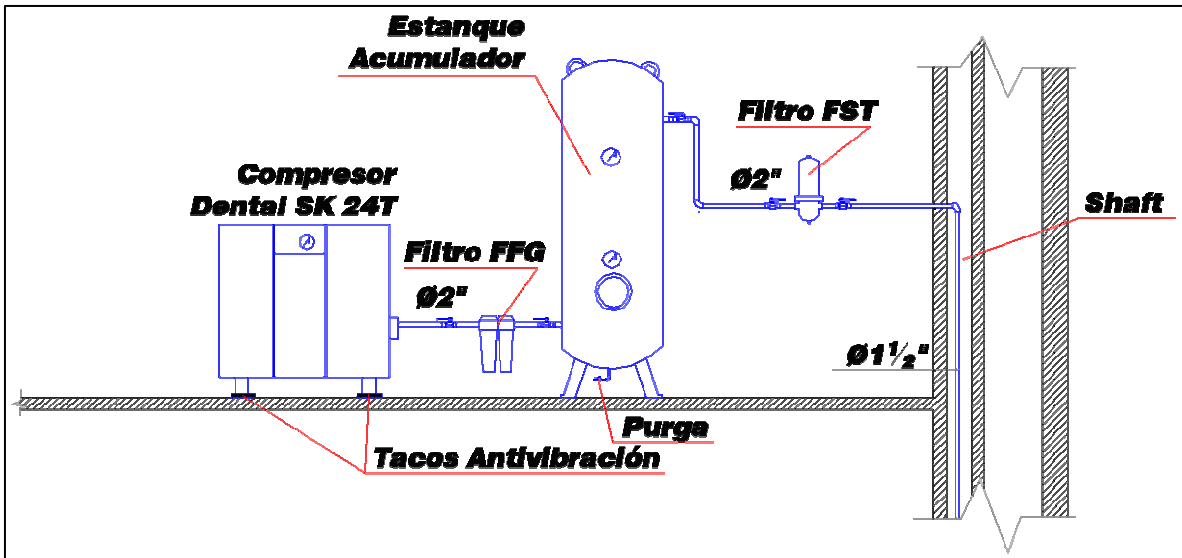


FIGURA 6.08
DETALLE SALA DE COMPRESOR.

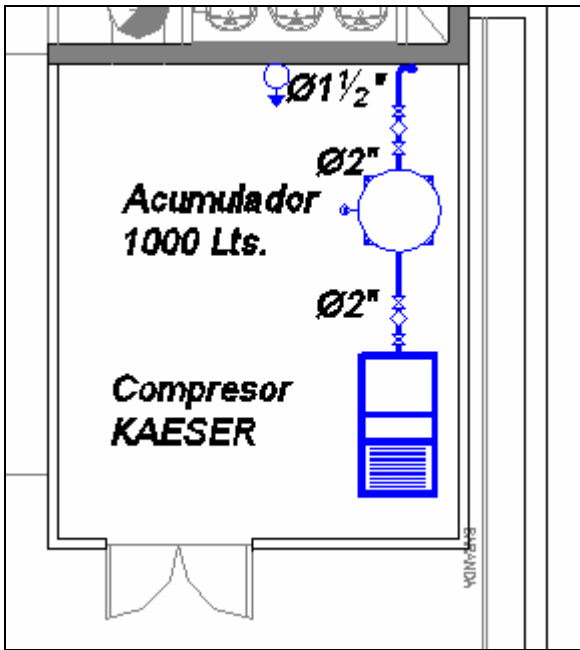


FIGURA 6.09
PLANTA SALA DE COMPRESOR.

6.8. PRESUPUESTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

Con el fin de obtener una mayor claridad en cuanto al proyecto, se adjunta a continuación una tabla donde se puede apreciar el presupuesto correspondiente a la ejecución de la red.

ÍTEM	DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
A.-	CAÑERÍAS				
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 1/4"	ML	28	1 250	35 000
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 1/2"	ML	9	2 750	24 750
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 3/4"	ML	21	3 850	80 850
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 1"	ML	15	5 520	82 800
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 1 1/2"	ML	57	9 780	557 460
	Cañerías de cobre Tipo "L" Ø 2"	ML	5	12 550	62 750
	Fitting varios COBRE	GL	1	114 750	114 750
	Oxígeno	C/U	1.0	29 500	29 500
	Cilindro de gas 45kg	C/U	3.0	25 500	76 500
	Soldadura Estaño	KG	6.0	1 800	10 800
	Soldadura Plata	KG	1.0	28 000	28 000
B.-	FILTROS Y ACCESORIOS			SUBTOTAL A	1 103 160
	Combinación de Microfiltro modelo FFG	C/U	1	700 000	700 000
	Filtro bacteriológico modelo FST	C/U	1	1 700 000	1 700 000
	Regulador de presión	C/U	1	265 000	265 000
C.-	CENTRAL NEUMÁTICA			SUBTOTAL B	2 665 000
	Compresor Dental modelo SK 24T	C/U	1	6 500 000	6 500 000
	Estanque acumulador 1000/ (Incluye drenaje automático)	C/U	1	1 300 000	1 300 000
	Tacos antivibración	C/U	4	25 000	100 000
	Fitting varios COBRE	GL	1		350 000
	Conexión eléctrica (a partir de arranque eléctrico)	GL			150 000
	Sala de Compresor	GL			POR OBRA CIVIL
	Mano de obra general	GL			2 950 000
				SUBTOTAL C	11 350 000
				NETO	15 118 160
				19% IVA	2 872 450
				TOTAL	17 990 610

TABLA 6.14
PRESUPUESTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

CONCLUSIONES

Se analizarán las conclusiones para los objetivos planteados al principio de este proyecto.

En forma general, se logró el principal objetivo, el cual era el diseño de la red. Sin embargo, se debieron enfrentar varias circunstancias en las cuales se tomaron decisiones, como por ejemplo el diseñar la red de forma abierta o cerrada, tomándose la opción de una red abierta. Esto debido al costo por concepto de cañerías, ya que las tuberías son de cobre. Además las cañerías que alimentan los sillones dentales del sexto piso irán bajo la losa a la vista desde el quinto piso, incluyendo todas las especialidades que forman la globalidad del proyecto (instalaciones sanitarias, eléctricas, calefacción, etc).

También, al realizar el cálculo de pérdidas de carga, la pérdida de carga total era demasiado alta. Por esto se toma la decisión de aumentar los diámetros de las cañerías y con esto se logra reducir considerablemente esta pérdida de presión.

Es muy importante señalar que la red de aire comprimido se podrá ampliar para futuras conexiones hasta un 30% del caudal calculado.

Por otro lado, para suministrar aire comprimido a todos los equipos que componen las unidades dentales se debía fijar una calidad adecuada del aire comprimido. Para ello se recurrió a la Norma ISO 8573-1, escogiéndose un tratamiento de aire para industria farmacéutica, es decir, libre de gérmenes, aceite, polvo y agua. Todo esto se logra gracias a los efectivos filtros que se seleccionaron y principalmente al compresor, que es libre de aceite.

Con respecto a las tuberías seleccionadas, se tomó la opción de que estas fueran de cobre tipo L, debido a la ausencia de corrosión, paredes interiores lisas y posibilidades de doblar con amplia gama de diámetros en el comercio y fitting.

Las tuberías se montarán a la vista por debajo de la losa, y para la sujeción de éstas se utilizarán abrazaderas de Zinalum, con un espesor de 1 mm y tornillos para concreto en 3/8".

Una particularidad de la red aquí diseñada es la ausencia tanto de secador de aire como del post-enfriador. Equipos que fueron debidamente descritos en el proyecto. Sin embargo, esta ausencia se debe a que el compresor que se selecciona posee incorporados ambos equipos. Además, el compresor seleccionado corresponde a la línea de compresores dentales de KAESER Compresores (sin aceite).

Se vio la necesidad de suministrar un regulador de presión antes de ingresar al aula preclínico niños en la red. Esto debido a que los equipos en esta aula

trabajan a una presión de *3bar* distinta a los sillones dentales, los cuales trabajan a *5bar*. Con esto se soluciona el problema.

Además, se selecciona un tanque de almacenamiento de una capacidad de 1000 litros. Con esto se consigue que el compresor no trabaje en forma continua.

OBSERVACIONES GENERALES

Se deberá colocar una debida atención a la mantención de la red de aire comprimido, esto con el fin de evitar accidentes o mal funcionamiento de los equipos neumáticos. Esta mantención se deberá realizar periódicamente y cuando realmente corresponda, para un funcionamiento óptimo de cada uno de los equipos que componen la red.

El arquitecto deberá proveer un shaft para las pasadas de las tuberías de aire comprimido desde el sexto piso hasta la sala de compresores, la cual se encuentra en la azotea del octavo piso.

Quien esté a cargo de la instalación de los sillones dentales, tendrá que tomar la precaución de ajustar el regulador de presión incorporado en cada sillón a la presión de trabajo, o sea *5bar*.

Se deberá probar neumáticamente el tendido de la red para detectar posibles fugas en las uniones. Esto se tiene que realizar con una presión de *8bar* a la salida del compresor y por un tiempo de 24 horas antes de la recepción de la obra.

BIBLIOGRAFÍA

- *Automatización neumática en la industria. SMC.* Autor: Jorge Daniel Bronzini. Año 1997.
- *Aire comprimido, fuente de energía.* Autor: Stefan Hesse. Año 2002.
- *Neumática aplicada.* Autores: H. Cornejo; J. Gatica; V.Pita. Año 1991.
- *Apuntes de compresores.* Autor: Reinaldo Sánchez. Año 2006.
- *Curso de neumática.* Autor: J. J. de Felipe Blanch.
- *Neumática. Generación, tratamiento y distribución del aire. Parte I.* Autor: Iván Escalona.
- *Catálogo "Oil-free Reciprocating Compressors DENTAL Series".* Autor: KAESER Compresores.
- *Catálogo "Depósitos de aire comprimido".* Autor: KAESER Compresores.
- *Catálogo "Filtros".* Autor: KAESER Compresores.
- *Catálogo "Automación neumática. Sección II".* Autor: VIGNOLA.
- *Catálogo sillón dental.* Autores: Nardo & Herrero.
- *Catálogo tuberías de cobre.* Autor: FLU CHILE LTDA.