

Aire Comprimido

Tutorial para el trabajo en campo



giz

por encargo de
 Ministerio Federal de
Cooperación Económica
y Desarrollo


cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

México, D.F., Julio del 2015

El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó bajo el marco del “Human Capacity Development” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/ de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de COMPITE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras por ej.: GIZ
Aire Comprimido – Tutorial para el trabajo en campo, México, D.F., julio de 2015

Edición y Supervisión: GIZ
Autor: Tecener SA de CV
Diseño: GIZ Mexico
Fotos portada: www.kaeser.com

Impreso en México

© El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE)
Manuel María Contreras 133 p7,
Col. Cuauhtémoc, Del. Cuauhtémoc
C.P. 06500, México D.F.
T +52 55 5322 0700
E promocion@compite.org.mx
I <http://www.compite.org.mx/>

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn/Alemania
www.giz.de

Oficina de Representación de la GIZ en México
Torre Hemicor, Piso 11
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle, Del. Benito Juárez
C.P. 03100, México, D.F.
T +52 55 55 36 23 44
F +52 55 55 36 23 44
E giz-mexiko@giz.de
I www.giz.de / www.gtz.de/mexico

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	13
1 OBJETIVOS	15
2 ¿QUÉ ES EL AIRE COMPRIMIDO?.....	16
3 BASES TEÓRICAS	17
3.1 Ley de Boyle Mariotte.....	17
3.2 Ley de Charles (proceso isobárico)	17
3.3 Ley de Gay Lussac.....	18
3.4 Presión y volumen.....	18
3.5 Temperatura.....	19
3.6 Trabajo y potencia.....	20
3.7 Flujo volumétrico	20
3.8 Aire comprimido en movimiento	22
3.9 Rangos de presión	22
3.9.1 Baja presión a 10 bar	23
3.9.2 Rango de media presión a 15 bar.....	23
3.9.3 Rango de alta presión 40 bar	24
3.9.4 Alta presión rango hasta 400 bar.....	24
3.9.5 Usos comunes del aire comprimido.....	24
3.9.5.1 Sector de la construcción.....	24
3.9.5.2 Minería	24
3.9.5.3 Industria química	24
3.9.5.4 Sistemas médicos.....	25
3.9.5.5 Oficios	25
3.9.5.6 Posesos de la industria maderera.....	25
3.9.5.7 Fábricas y fundiciones de acero	25
3.9.5.8 Industria del plástico	25
3.9.5.9 Industria alimenticia	26
3.9.5.10 Industria del papel	26
3.9.5.11 Industria textil	26
3.9.6 Variación de la capacidad y potencia en base a la altitud.....	26
4 COMPONENTES DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO	28

4.1	Compresores.....	28
4.1.1	Tipos de compresores.....	29
4.1.2	Compresores alternativos.....	31
4.1.2.1	Compresor de embolo	31
4.1.2.1.1	Operación del compresor de embolo.....	32
4.1.2.1.2	Area de separación	33
4.1.2.1.3	Enfriamiento en compresores de pistón.....	34
4.1.2.1.5	Control de compresores de embolo.....	36
4.1.2.2	Compresores de diafragma.....	36
4.1.3	Compresores rotativos	37
4.1.3.1	Compresor de paletas.....	37
4.1.3.2	Compresor de lóbulos o Roots:.....	38
4.1.3.3	Compresor de tornillo.....	39
4.1.3.3.1	Operación de compresor de tornillo.....	41
4.1.3.3.2	Enfriamiento de compresores de tornillo.....	42
4.1.3.4	Compresor scroll.....	42
4.2	Componentes típicos.....	43
4.3	Control de compresores	43
4.3.1	Presión.....	43
4.3.2	Estado de operación.....	44
4.3.2.1	Parado.....	44
4.3.2.2	Operación en reposo	44
4.3.2.3	Carga parcial	44
4.3.2.4	Carga de operación	45
4.3.3	Control de frecuencia	45
4.4	Tratamiento del aire	47
4.4.1	Impurezas	47
4.4.2	Vapor de agua.....	48
4.4.3	Calidad del aire comprimido	48
4.4.4	Tecnologías de filtración.....	49
4.4.4.1	Filtros.....	50
4.4.4.2	Clasificación de los filtros en base a su capacidad de filtración	50
4.4.5	Tecnologías de secado del aire	50
4.4.5.1	Secado por condensación	51

4.4.5.2	Secado por refrigeración.....	51
4.4.5.3	Secado por difusión en un diafragma.....	51
4.4.5.4	Sorción por absorción.....	52
4.4.5.5	Sorción por adsorción.....	52
4.4.5.6	Ubicación del secador.....	52
4.4.5.6.1	Secador de aire instalado antes del depósito.....	53
4.4.5.6.2	Secador de aire instalado después del depósito.....	53
4.4.5.8	Efectos de la ubicación de la red sobre el sistema de secado.....	54
4.5	Tratamiento de los condensados.....	55
5	REQUERIMIENTOS DE AIRE COMPRIMIDO.....	56
5.1	Consumos.....	56
5.1.1	Consumo de aire por boquillas cilíndricas.....	56
5.1.3	Consumo de aire por aspersores de pintura.....	57
5.1.4	Herramienta de trabajo.....	57
5.1.5	Fugas.....	58
6	RECUPERACIÓN DE CALOR.....	59
6.1	Balance de calor de una estación de compresión.....	59
6.2	Calefacción de la habitación.....	60
6.2.1	Calefacción de un espacio a través de ductos.....	60
6.2.2	Operación de la calefacción de un espacio.....	61
6.2.3	Economía de la calefacción de un espacio.....	62
6.3	Intercambiador de calor DUOTHERM.....	62
6.3.1	Sistema Duotherm BPT.....	62
6.3.1.1	Principios de operación.....	63
6.3.3	Sistema Duotherm BSW.....	64
6.3.3.1	Principios de operación.....	64
6.4	Observaciones finales relativas a la recuperación de calor.....	65
7	SONIDO.....	67
7.1	La naturaleza del sonido.....	67
7.2	Terminología importante en acústica.....	68
7.2.1	Presión de sonido.....	68
7.2.1.1	Niveles de sonido.....	69
7.2.1.2	Intensidad del sonido.....	69
7.3	Percepción humana del sonido.....	70

7.3.1	Nivel de intensidad del sonido	70
7.3.1.1	Nivel de sonido evaluado dB (A)	71
7.3.1.2	Comparación de sonoridad	71
7.4	Comportamiento del sonido.....	73
7.4.1	Distancia desde la fuente del sonido	73
7.4.2	Reflexión y absorción	73
7.4.3	Amortiguación de sonido	74
7.4.4	Diseminación del sonido en tuberías y ductos	75
7.4.5	Nivel de presión sonora de muchas fuentes de sonido.....	76
7.4.5.1	Varias fuentes de sonido con el mismo nivel	76
7.4.5.3	Dos fuentes de sonido con diferentes niveles	77
7.5	Los efectos del ruido	77
7.6	Medición del ruido	78
7.7	Silenciadores en compresores	79
8	COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO	81
8.1	Motor.....	81
8.2	Datos de placa del grupo compresor	85
8.3	Características de la instalación	85
8.4	Mantenimiento.....	85
8.5	Horarios de funcionamiento.....	86
8.6	Gestión operativa	86
8.7	Mediciones en campo	86
9	FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	88
10	MEJORAS ENERGÉTICAS.....	91
10.1	Regulación de los compresores	91
10.2	Recuperación del calor.....	93
10.3	Ventilación del local.....	94
10.4	Tratamiento adecuado del aire	96
10.5	Tamaño del depósito de almacenamiento de aire	96
10.6	Detección de fugas de aire.....	97
10.7	Minimizar las pérdidas de carga	98
10.8	Limitar la presión de uso	98
10.9	Resumen.....	99
11	EJEMPLOS	100

11.1 ¿Cuánta energía se puede ahorrar con un recuperador de calor?	100
11.2 Ejemplo de fuga de aire 1.....	101
11.3 Ejemplo de fuga de aire 2.....	102
Bibliografía	103
ANEXO 1: Unidades y magnitudes.....	104

Lista de Tablas

Tabla 1 Reducción de potencia debido a la altitud.....	27
Tabla 2 Características de los tipos de compresores.....	30
Tabla 3 Calidad de aire comprimido	49
Tabla 4 Tecnologías de secado.....	54
Tabla 5 Consumo en l/min de boquillas cilíndricas	56
Tabla 6 Consumo de aire por aspersores [l/min]	57
Tabla 7 Consumo de aire por herramientas de trabajo.....	57
Tabla 8 Referencia a la presión de sonido.....	73
Tabla 9 Incremento del nivel de presión con relación a fuentes de sonido	76
Tabla 10 Código NEMA clave KVA	83
Tabla 11 Clase de aislamiento	84
Tabla 12 Mediciones de campo.....	87
Tabla 13 Pérdidas por fugas de aire – presión 6 bar	102
Tabla 14 Unidades y magnitudes Corriente continua	104
Tabla 15 Unidades y magnitudes Corriente alterna monofásica.....	105
Tabla 16 Unidades y magnitudes Corriente alterna trifásica.....	106

Lista de Ilustraciones

Figura 1 Composición del aire comprimido.....	16
Figura 2 Compresión de un gas	17
Figura 3 Esquema de presión y volumen.....	18
Figura 4 Esquema de flujo volumétrico.....	21
Figura 5 Flujo a través de una sección transversal.....	22
Figura 6 Rangos de presión de aire comprimido	23
Figura 7 Compresores de desplazamiento	28
Figura 8 Tipos de compresores	29
Figura 9 Compresor de pistón Atlas Copco	31
Figura 10 Componentes de compresor de pistón	32
Figura 11 Compresores de embolo	32
Figura 12 Funcionamiento de un pistón.....	33
Figura 13 Funcionamiento de compresor de dos pistones.....	33

Figura 14 Area de separación	34
Figura 15 Dirección de aire de enfriamiento en compresor de piston	35
Figura 16 Compresor de diafragma	36
Figura 17 Compresor de paletas	38
Figura 18 Compresor de lóbulos o Roots	38
Figura 19 Compresor tornillo	40
Figura 20 Funcionamiento de compresor de tornillo	40
Figura 21 Diagrama de compresor de tornillo (BOGE)	41
Figura 22 Compresor Scroll.....	42
Figura 23 Control de frecuencia y consumo de energía.....	46
Figura 24 Características de secado	54
Figura 25 Tipos de drenajes de condensados	55
Figura 26 Distribución de calor en un compresor tipo tornillo enfriado por aceite.	60
Figura 27 Diagrama del sistema de ductos.....	61
Figura 28 Sistema BOGE-Duotherm BPT.....	63
Figura 29 Sistema Boge- Duotherm BPT	63
Figura 30 Sistema Boge-Duotherm BSW	64
Figura 31 Diagrama de flujo de un sistema DOGE-Duotherm BSW	65
Figura 32 Impresiones de sonido	68
Figura 33 Rango de audición humana.....	70
Figura 27 Presión del sonido	72
Figura 35 Diseminación del sonido en un espacio cerrado	74
Figura 36 Aislamiento del sonido (paredes).....	75
Figura 37 Silenciador con elementos rectos	75
Figura 37 Sonido reforzado por dos fuentes con diferentes niveles.....	77
Figura 39 Afecciones del ruido	78
Figura 40 Silenciador BOGE para compresor tipo tornillo.....	80
Figura 41 Placa motor	81
Figura 42 Grafica NEMA letra de diseño DES	83
Figura 43 Funcionamiento en vacío.....	91
Figura 44 Funcionamiento a carga parcial.....	92
Figura 45 Funcionamiento intermitente	92
Figura 46 Recuperación de calor para precalentamiento de aire.....	93
Figura 47 Recuperación de calor para precalentamiento de agua.....	94

Figura 48 Regla de ventilación natural	95
Figura 49 Regla de ventilación artificial	95
Figura 50 Consecuencia de un tratamiento de aire inadecuado	96
Figura 51 Sistemas de almacenamiento de aire	97
Figura 52 Comparativa de material de tubería	98
Figura 53 Pérdidas por fugas de aire – presión 8 bar	102

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Ley de Boyle Mariotte	17
Ecuación 2 Ley de charles	18
Ecuación 3 Ley de Gay Lussac	18
Ecuación 4 Flujo volumétrico.....	19
Ecuación 5 Conversión de C a K.....	20
Ecuación 6 Flujo volumétrico de trabajo	21
Ecuación 7 Flujo volumétrico.....	22
Ecuación 8 Nivel de presión sonora	69

Listado de Abreviaturas

A	Amperio
°C	Grados Celsius
m	Metros
µm	micrómetros
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cubicos
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
HP	Horse Power
Hz	Hertz
K	Grados Kelvin
kW	kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
l/min	Litros por minuto
PyME	Pequeñas y Medianas Empresas
RPM	Revoluciones por minuto
1/m	Revoluciones por minuto
TEE	Taller de Eficiencia Energética
VSD	Por sus siglas en inglés Variable Speed Drive, variador de velocidad o variador de frecuencia

Resumen Ejecutivo

1. Antecedentes:

En el marco del Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Fortalecimiento del Sector Privado para la Mitigación del Cambio Climático, diversas actividades se desarrollaron durante 2012 y 2013, a fin de formar consultores en eficiencia energética para brindar estos servicios al sector PyME. Como resultado de esta etapa de formación, COMPITE como organización que conduce estas actividades en México, ha desarrollado un nuevo producto de asistencia a las PyMEs basado en un Taller de Eficiencia Energética (TEE) que tiene como objetivo reducir los costos de la operación y de la energía al eficientar el uso de la misma, a través de mejores métodos de proceso y de trabajo.

Para apoyar este nuevo producto en el mercado, se llevaron a cabo experiencias piloto de implementación. Con base en la retroalimentación obtenida de esta primera fase de prueba, se preve reforzar la capacitación brindada a los consultores de COMPITE a través de tutoriales. El presente material podrá ser utilizado por los consultores de COMPITE para fortalecer la metodología del Taller de Eficiencia Energética.

2. Objetivo y alcance:

Este tutorial sirve de herramienta para los consultores de COMPITE en el desarrollo de los Talleres de Eficiencia Energética, en particular para todo lo relacionado con los sistemas de aire comprimido.

3. Metodología:

Para elaborar el presente documento, se realizó en primera instancia una reunión con los consultores de COMPITE, con el objetivo de entender el contexto de ejecución de los Talleres de Eficiencia Energética, sus conocimientos en relación a la temática desarrollada y sobre todo sus expectativas en cuanto al contenido del tutorial. Posteriormente, se desarrollaron la guía del contenido y el índice del documento, tomando en cuenta el material existente así como las peticiones de los consultores de COMPITE. Finalmente, se investigó, en diferentes fuentes de información electrónica e impresa, los contenidos faltantes por desarrollar.

4. Estructura del documento:

Este documento se divide en una primera parte teórica sobre los sistemas de aire comprimido. La segunda parte describe los diferentes componentes de una instalación estándar. En los siguientes capítulos, se abordan temas relacionados con la recuperación de calor y sonido. En la 8ª parte, los consultores podrán encontrar los datos que deben obtener o registrar para hacer el análisis energético correspondiente. El quinto capítulo contiene el formato de recopilación de

datos desarrollado en función de las recomendaciones indicadas en el capítulo anterior. Finalmente, se presentan las mejoras energéticas que se pueden identificar en las instalaciones de aire comprimido y la estimación de los ahorros asociados.

5. Resultados clave:

Con este tutorial, los consultores de COMPITE tienen una herramienta muy completa que les permite entender cómo funciona teóricamente el aire comprimido así como conocer los componentes y funcionamiento de una instalación estándar. Con este conocimiento y la guía de mejoras energéticas presentada, podrán identificar, analizar y calcular las oportunidades de ahorros relacionados con los sistemas de aire comprimido de una industria.

6. Conclusiones:

Esta herramienta refuerza los conocimientos de los consultores de COMPITE y les permite ser mejor preparados para llevar a cabo los Talleres de Eficiencia Energética en PyME, al entender la teoría detrás de cada tecnología y al identificar rápidamente las principales mejoras energéticas relacionadas con los sistemas de aire comprimido.

1 OBJETIVOS

El aire comprimido es uno de los servicios más utilizados en diferentes tipos de industria, y puede representar uno de los consumos energéticos relevantes y por ello, es importante prestarle atención con el fin de mantener una adecuada instalación.

El presente tutorial ha sido elaborado para lectores de todo ámbito, desde el menos experimentado hasta el técnico especializado. Se ilustran aspectos técnicos y teóricos, mencionando una serie de ecuaciones necesarias para el correcto análisis de las tecnologías.

Este tutorial se estructura de la siguiente forma:

- Base teórica
- Tipos de compresores y
- Toma de datos
- Medidas de eficiencia energética

Los objetivos son los siguientes:

1. Conocer la teoría básica para los sistemas de aire comprimido, las diferentes tecnologías, los componentes, los principios de regulación, etc.
2. Tener las herramientas para realizar un levantamiento en campo de los datos requeridos para instalaciones de aire comprimido
3. Identificar las oportunidades de ahorro de energía y calcular los ahorros de energía correspondientes

2 ¿QUÉ ES EL AIRE COMPRIMIDO?

El aire comprimido corresponde a una de las formas de energía más antiguas de la humanidad, utilizada en Grecia, hace más de dos mil años en una catapulta. El primer registro del compresor mecánico se encuentra tres mil años A.C. utilizado en la metalurgia cuando se desarrollaban las aleaciones de cobre para hacer bronce, convirtiéndolo en un proceso estable.

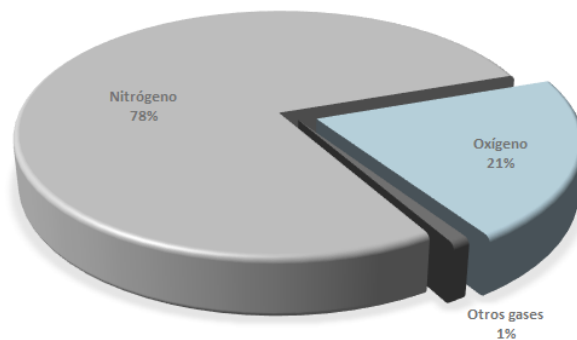
Junto con la electricidad, el aire comprimido constituye una forma de energía de uso muy extendido en el sector industrial ya que permite multitud de aplicaciones tales como atornillar, rectificar, inyectar, entre otras.

Esta fuente de energía aunque es útil y de amplia aplicación, si no es correctamente implantada, puede acarrear costos adicionales. Esto sucede puntualmente si no se dimensiona u opera convenientemente.

El adecuado funcionamiento de la instalación de aire comprimido y duración de la misma tienen inicio desde su concepción, realizando el diseño en base a normatividad y las necesidades del sitio.

El aire comprimido corresponde a aire del ambiente al cual, por medio de un compresor, se le aumenta la presión por encima a la atmosférica. Este aire se compone esencialmente de oxígeno, nitrógeno y vapor de agua.

Figura 1 Composición del aire comprimido



El aire del ambiente es una mezcla de gases incoloro, inodoro e insípido, compuesto básicamente por nitrógeno en un 78 %, oxígeno en un 21% y 1% de otros gases. Al no ser un elemento puro cuenta con presencia de impurezas, partículas y humedad.

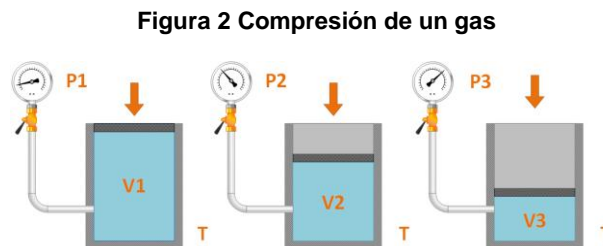
La ley de Mariotte y Gay Lussac es la más significativa en el sector de la neumática y es la utilizada como fundamento tecnológico para el funcionamiento de los compresores. Un volumen de aire constante es aspirado e introducido en la cámara del compresor donde el volumen se reduce. Esta disminución de volumen provoca un aumento de la presión y de la temperatura del aire.

3 BASES TEÓRICAS

El aire del ambiente puede considerarse como la mezcla de aire puro con presencia de humedad, ante la presencia de vapor de agua se le conoce como Aire Húmedo. Como todos los gases, el aire está compuesto por moléculas, que se mantienen en unidad por fuerzas moleculares. Cuando el aire comprimido se contiene en un recipiente, este genera presión en las paredes del mismo. Manteniendo el mismo volumen, a mayor temperatura, mayor movimiento de las moléculas generando mayor presión. Esta relación de volumen y presión fue descubierta vía experimental por Boyle y Mariotte.

3.1 Ley de Boyle Mariotte

A temperatura T es constante, el volumen es inversamente proporcional a la presión. Cuando la presión aumenta, el volumen disminuye, y a la inversa, cuando la presión se reduce, el volumen aumenta.



Ecuación 1 Ley de Boyle Mariotte

$$P1.V1=P2.V2=P3.V3=Constante$$

Donde

P: Presión absoluta (Pa)

V: Volumen en m^3

3.2 Ley de Charles (proceso isobárico)

Manteniendo la presión constante, el volumen de un gas varía en proporción directa al cambio de temperatura.

Ecuación 2 Ley de charles

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Donde

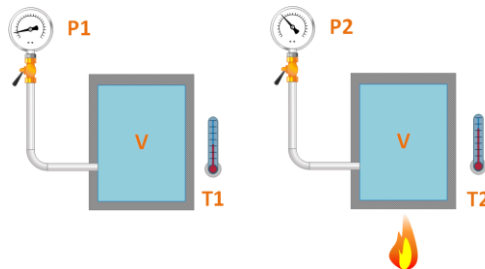
P: Presión absoluta (Pa)

V: Volumen en m³

3.3 Ley de Gay Lussac

A volumen constante (proceso isocoro), la presión del gas es directamente proporcional a su temperatura: Cuando la temperatura aumenta, la presión aumenta, y a la inversa, cuando la temperatura disminuye, la presión también.

Figura 3 Esquema de presión y volumen



Ecuación 3 Ley de Gay Lussac

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{Constante}$$

Donde

P: Presión absoluta (Pa)

T: Temperatura absoluta en K

3.4 Presión y volumen

La presión puede definirse como la fuerza ejercida por unidad de área. El peso de la columna de aire hasta nivel de mar por centímetro cuadrado es de 10.13 N, a esto es llamado presión

atmosférica. Cuanto mayor sea la altitud sobre nivel del mar menor será la presión que ejerce la atmosfera.

$$\begin{array}{l} \text{A nivel del mar,} \\ 1013 \text{ mbar} \end{array} \begin{array}{l} = 1.01325 \text{ bar} \\ = 760 \text{ mm/Hg (Torr)} \\ = 101325 \text{ Pa} \end{array}$$

El flujo volumétrico se describe como el volumen por unidad de tiempo. En compresores existe una distinción entre flujo volumétrico de trabajo y flujo volumétrico.

El flujo volumétrico de trabajo es una cantidad calculada sobre el pistón del compresor, es el producto del tamaño del cilindro, velocidad del compresor, y número de cilindros.

Ecuación 4 Flujo volumétrico

$$\dot{V} = A \times s \times n \times c$$

Donde

- V: Flujo volumétrico de trabajo (l/min)
- A: Área del cilindro (dm²)
- s: Carrera (dm)
- n: número de ciclos (1/min)
- c: número de cilindros

El flujo volumétrico a diferencia del flujo volumétrico de trabajo es medido a la salida del compresor y es la resultante de las condiciones de presión, temperatura y humedad relativa.

3.5 Temperatura

La temperatura de un gas requiere de un mayor detalle para definirse con claridad. Puede definirse la temperatura como una medida de la energía cinética de las moléculas, ya que en un gas las moléculas se mueven libremente, entre mayor sea la temperatura mayor movimiento de las mismas. El movimiento de las moléculas teóricamente cesa cuando se alcanza el cero absoluto (0 K)

En el sistema internacional la unidad de medida es el grado kelvin (K) que está basada en el principio del cero absoluto, esta graduada de manera similar al grado Celsius o centígrado (C):

Ecuación 5 Conversión de C a K

$$T=t+273.15$$

Donde:

T= Temperatura absoluta (K)

t= Temperatura en Celsius (C)

3.6 Trabajo y potencia

En la mecánica el trabajo puede definirse como el producto vectorial de una fuerza aplicada sobre una partícula en una dirección por la distancia en la que la desplaza. Al igual que el calor el trabajo tiene unidades de energía, en termodinámica el trabajo se define como la transferencia de calor de un cuerpo al otro, a través de su frontera.

En términos de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) un sistema realiza trabajo cuando cede energía y se realiza un sistema sobre el trabajo cuando el sistema gana energía, lo cual cumple con la primera ley de la termodinámica, que es el principio de conservación de la energía.

Un ejemplo claro de trabajo es la compresión de un gas al interior de un cilindro efectuado por el desplazamiento de un pistón, la compresión del gas da como resultado el incremento de la energía cinética y potencial.

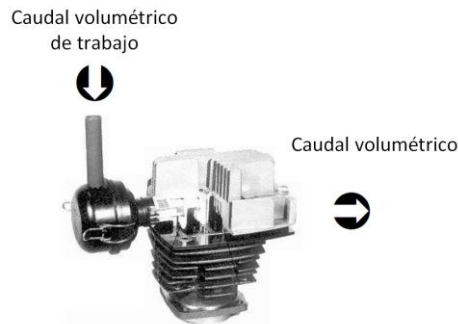
La potencia es derivada del trabajo ya que se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo o en otras palabras la rapidez con la que se realiza un trabajo. En sistema internacional su unidad es el Watt ($W= 1 \text{ J/s}$).

3.7 Flujo volumétrico

El flujo volumétrico describe el volumen que circula por unidad de tiempo, puede calcularse como el producto del área de la sección transversal por la que circula el fluido, por la velocidad del mismo. En el sistema internacional las unidades son metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Se debe realizar una distinción entre flujo volumétrico de trabajo (velocidad de entrada) y el flujo volumétrico (velocidad de salida) de un compresor.

Figura 4 Esquema de flujo volumétrico



El flujo volumétrico de trabajo es una cantidad calculable en el pistón del compresor. Es el producto del volumen del cilindro, velocidad del compresor y el número de cilindros de trabajo, sus unidades suelen expresarse en l/m, m³/min o m³/h.

Ecuación 6 Flujo volumétrico de trabajo

$$\dot{V} = A \times s \times n \times c$$

En donde:

\dot{V} = Flujo volumetrico de trabajo [l/min]

A = Área del cilindro [dm²]

s = Carrera [dm]

n = Numero de carreras, velocidad del compresor [1/min]

c = Numero de cilindros de trabajo

El flujo volumétrico del compresor se le llama normalmente al flujo de salida, a diferencia del flujo volumétrico de trabajo, este no es calculado pero

El flujo volumétrico es dependiente de la presión final, en relación a las condiciones de entrada (presión, temperatura y humedad relativa), esta es la razón por la que cuando calculamos el estado de entrada la presión debe ser normalizada y la temperatura re enfriada y secada para llevarlo a 0% de humedad.

El caudal se mide según VDMA 4362, DIN 1945, ISO 1217 o PN2 CPTC2 y expresada en l/min, m³/min o m³/h. El flujo de volumen eficaz, es decir, el aire a la salida que en realidad puede ser utilizado, es una consideración importante para el diseño de un compresor. Los flujos volumétricos sólo pueden ser comparados de manera útil cuando se mide en las mismas condiciones. Esto significa que la temperatura de inducción, presión, humedad relativa del aire y la presión medida deben coincidir.

3.8 Aire comprimido en movimiento

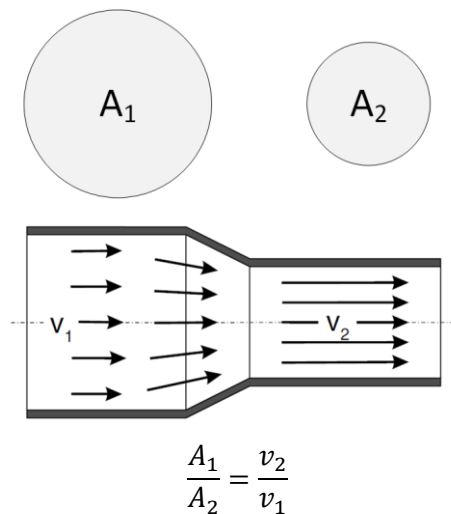
Diferentes leyes termodinámicas aplican para el aire comprimido en movimiento y el aire comprimido en estado estacionario. Como ya se explicó el flujo volumétrico se calcula en base al área y la velocidad como se expresa a continuación.

Ecuación 7 Flujo volumétrico

$$\dot{V} = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

Esto puede verse como el flujo en una tobera, en la cual la sección transversal disminuye y el fluido se acelera.

Figura 5 Flujo a través de una sección transversal



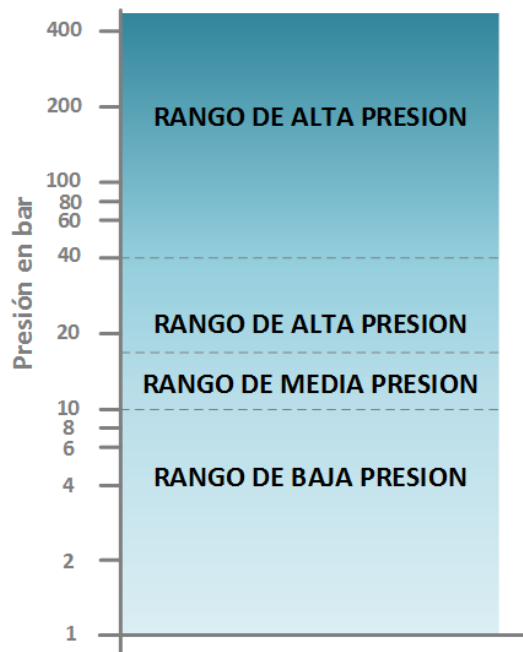
De lo cual puede resumirse que: la velocidad de flujo es inversamente proporcional a la sección transversal.

El flujo puede ser laminado con baja caída de presión y ligera transferencia de calor, o turbulento, con altas caídas de presión y alta transferencia de calor.

3.9 Rangos de presión

Dependiendo de la presión requerida en industria se puede denominar la presión de trabajo de aire comprimido en alta media y baja presión.

Figura 6 Rangos de presión de aire comprimido



3.9.1 Baja presión a 10 bar

La mayoría de las aplicaciones en la industria usan baja presión, los compresores más usados son:

- Compresores de pistón de simple y doble etapa
- Compresores de tornillo de simple etapa con enfriamiento de inyección de aceite
- Compresores de doble etapa
- Compresores rotativos

3.9.2 Rango de media presión a 15 bar

Llantas de vehículos de carga y otros vehículos pesados son llenadas con aire comprimido a 15 bar, así como otra maquinaria especial que opera a esa presión. Los compresores utilizados son:

- Compresores de doble etapa
- Compresores de tornillo de simple etapa (sobre 14 bar) con enfriamiento de inyección de aceite

3.9.3 Rango de alta presión 40 bar

Los compresores en estos rangos de presión son generalmente usados para arranque de grandes motores diésel, pruebas de tubería y limpieza de tanques plásticos. Los compresores utilizados son:

- Compresores de pistón de doble y triple etapa
- Compresores de tornillo multietapa

3.9.4 Alta presión rango hasta 400 bar

Un ejemplo de aire comprimido en rango de alta presión es el almacenaje de aire en tanques de buceo. Los compresores de alta presión son usados en estaciones de energía, en operaciones de laminado y en obras de acero para prueba de fugas. Los compresores de este tipo son también usados para compresión de gases de servicio, como el oxígeno.

Compresores usados:

- Compresores de pistón de tres y cuatro

3.9.5 Usos comunes del aire comprimido

Para tener una idea sobre el tipo de instalaciones o sector en donde podemos encontrar instalaciones de aire comprimido son los siguientes:

3.9.5.1 Sector de la construcción

- Martillos de perforación y demolición (arietes de mano)
- Compactadores de hormigón
- Bandas de transportación para fábricas de ladrillos y piedras artificiales

3.9.5.2 Minería

- Martillos de perforación y sistemas de carga
- Maquinaria de carga, transporte y demolición
- Martillos y cinceles neumáticos
- Sistemas de ventilación

3.9.5.3 Industria química

- Materia prima para los procesos de oxidación
- Control de procesos

- Válvulas y dispositivos en los circuitos de proceso remoto controlado
- Industria de la energía
- Inserción y retirada de las barras del reactor
- Válvulas y dispositivos en circuitos de vapor y líquido refrigerante controlados de manera remota
- Los sistemas de ventilación para salas de calderas

3.9.5.4 Sistemas médicos

- Grupo hidráulico para simulacros de dentistas
- Aire para sistemas de respiración
- Extracción de gases anestésicos

3.9.5.5 Oficios

- Grapadoras y pistolas de clavos
- Pintura con pistola pistolas
- Taladros y destornilladores
- Amoladoras angulares

3.9.5.6 Posesos de la industria maderera

- Ajuste de rodillos para sierras alternativas
- Sistemas de alimentación Taladro
- Enmarcado, pegamento y chapa de prensas
- Contacto y transporte de control de tablas de madera
- La eliminación de virutas y serrín de las áreas de trabajo
- Clavado automático de palets

3.9.5.7 Fábricas y fundiciones de acero

- La reducción de carbono en la producción de acero
- Máquinas de compresión y vaciado
- Agrupación de maquinaria para productos semi-acabados
- Refrigerantes para herramientas y sistemas térmicos

3.9.5.8 Industria del plástico

- Transporte de granulado por tuberías
- Equipo de soldadura y corte
- Soplado de piezas en moldes
- Mecanismos de bloqueo
- Estaciones de adhesivo y maniobra

Forestal y agricultura

- Protección de las plantas y control de maleza
- Transporte de granos a los silos
- Equipo dispensador
- Ventilación en invernaderos

3.9.5.9 Industria alimenticia

- Equipo de llenado para bebidas
- Dispositivos de cerrado y verificación
- Maquinaria de empaclado y paletizado
- Maquinaria de etiquetado
- Equipo de pesado

3.9.5.10 Industria del papel

- Ajuste de rodillos y alimentación
- Maquinaria de corte, estampado y prensado

3.9.5.11 Industria textil

- Detectores de hilo
- Sujeción y posicionamiento en máquinas de costura
- Dispositivos de apilamiento
- Soplado del material residual y el polvo de coser

3.9.6 Variación de la capacidad y potencia en base a la altitud

Cuanta más altitud, la presión y temperatura medias ambientales disminuyen. Estas variaciones afectan en gran consecuencia la relación de compresión y a su rendimiento como se indica en la tabla siguiente.

Tabla 1 Reducción de potencia debido a la altitud

Tipo de compresor	Reducción en % por cada 1000 m de incremento de altitud	
	Capacidad	Potencia
Tamaño medio refrigerado por aire	2.10%	7.00%
De Tornillo (baño de aceite)	0.60%	5.00%
Tamaño grande de pistón (refrigerado por agua)	1.50%	6.20%
Tamaño grande de tornillo (refrigerador por agua)	0.30%	7.00%

4 COMPONENTES DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Los sistemas de aire comprimido se componen de varios subsistemas y componentes. En nuestro caso, los catalogamos bajo producción y consumo.

Existen tres tipos de generadores de aire comprimido:

- Compresores (compactadores). Usados para bombeo y compresión de aire a diferentes presiones
- Ventiladores. Son máquinas de flujo que mueven aire atmosférico, ocurren ligeros cambios de temperatura y densidad.
- Bombas de vacío. Son máquinas que canalizan gases con el propósito de crear un vacío.

Del lado de producción, distinguiremos:

- Compresores
- Tratamiento del aire
- Almacenamiento
- Regulación

Del lado consumo podremos analizar

- Tubería
- Almacenamiento secundario
- Aparatos de consumo

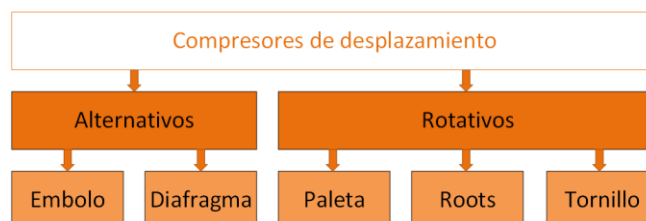
4.1 Compresores

Para poder producir el aire comprimido se utilizan compresores dimensionados para garantizar el caudal y presión deseados. Los compresores son equipos móviles

A continuación, analizaremos las dos tipologías de funcionamiento de compresores más comunes en las tecnologías de desplazamiento, que son:

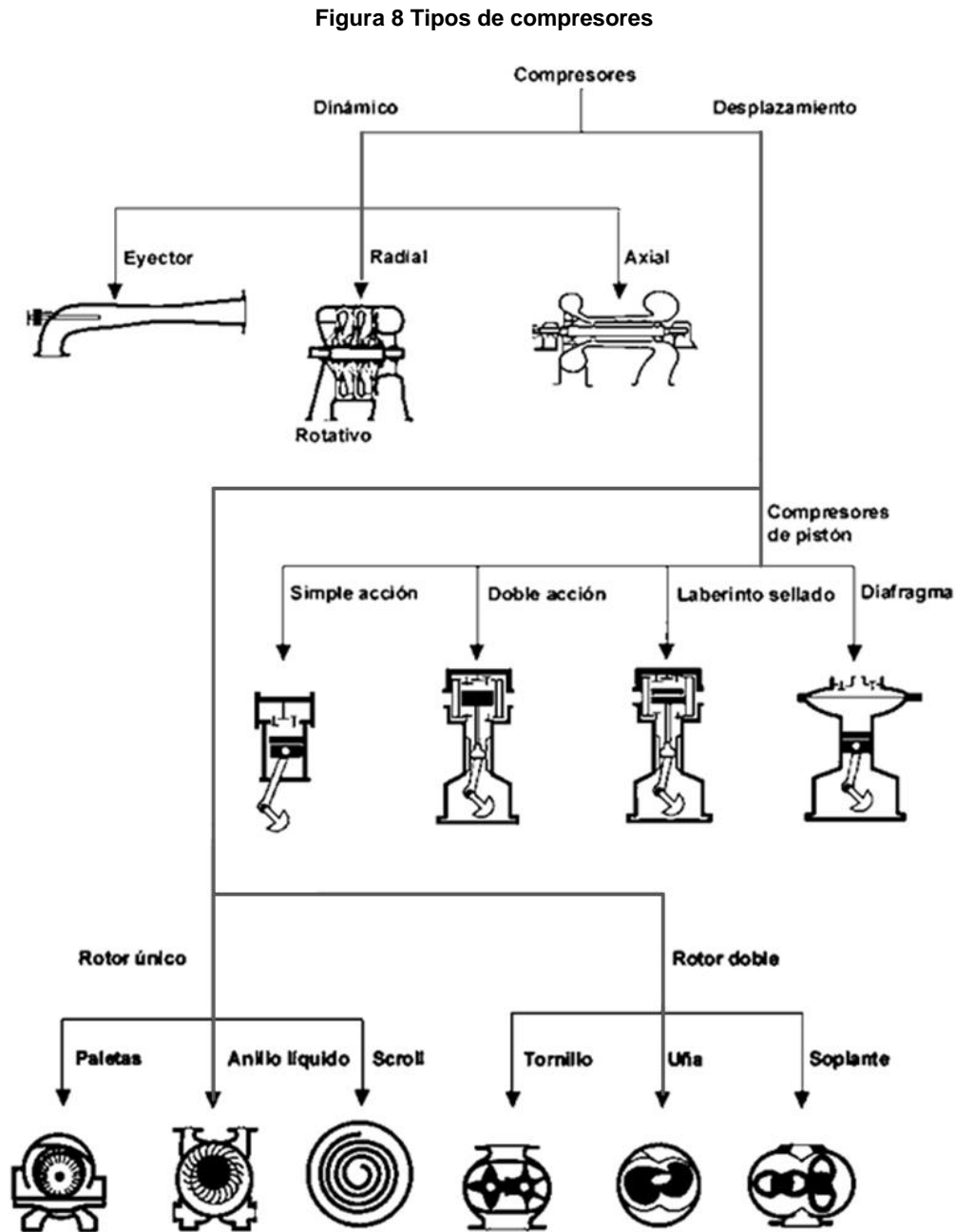
- Compresores alternativos
- Compresores rotativos

Figura 7 Compresores de desplazamiento





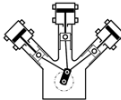


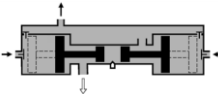









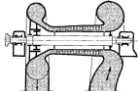
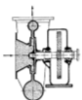
4.1.1 Tipos de compresores

Una manera de presentar los tipos de compresores es de acuerdo a su principio de funcionamiento como se muestra en el siguiente diagrama:



Existen diferentes tipos de compresores que varían sus capacidades y condiciones de operación, de acuerdo a su mecánica.

Tabla 2 Características de los tipos de compresores

Tipo	Símbolo	Diagrama de operación	Rango de presión [bar]	Flujo volumétrico [m ³ /h]
Compresor de pistón			10 – (1 etapa) 35 – (2 etapas)	120 600
Compresor de cruceta			10 – (1 etapa) 35 – (2 etapas)	12 600
Compresor de diafragma			baja	Baja
Compresor de pistón libre			Uso limitado como generador de gas	
Compresor rotatorio de paletas			16	4500
Compresor de anillos líquido			10	
Compresor de tornillo			22	3000
Compresor de lóbulos			1.6	1200
Compresor Axial			10	200 000
Compresor radial			10	200 000

4.1.2 Compresores alternativos

En este tipo de compresores, la compresión se realiza aspirando aire de un recinto hermético y reduciendo el volumen hasta alcanzar la presión deseada.

4.1.2.1 Compresor de embolo

El compresor de embolo es una de las tecnologías de compresión más utilizadas tanto en unidades móviles como fijas, ya que permite su uso para un amplio rango de caudales y presiones. Este tipo de compresor se basa en un sistema de biela y manivela que transforma un movimiento rotativo en un movimiento de alternativo de pistón.

Figura 9 Compresor de piston Atlas Copco



Este tipo de compresor existe en multitud de variantes que son:

- Simple efecto
- Doble efecto
- Lubricado con aceite
- Exento de aceite
- Con varios cilindros y de configuraciones diversas

Condiciones estándares:

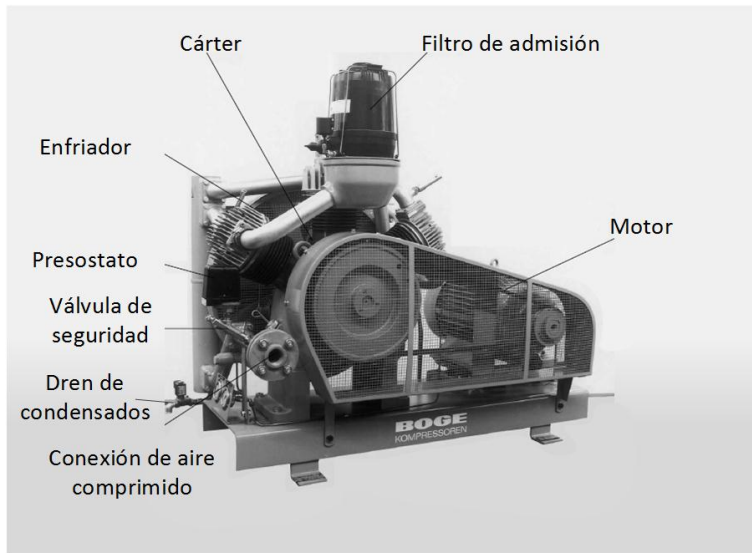
- Caudal: 30,000 m³/h
- Presiones: 6-7 bares

Ventajas:

- Compresión de casi cualquier gas
- Compresión económica en presiones arriba de 40 bar
- Puede ser utilizado como compresor booster
- Control sencillo
- Operación de arranque y paro económica (no hay tiempo de marcha en vacío)

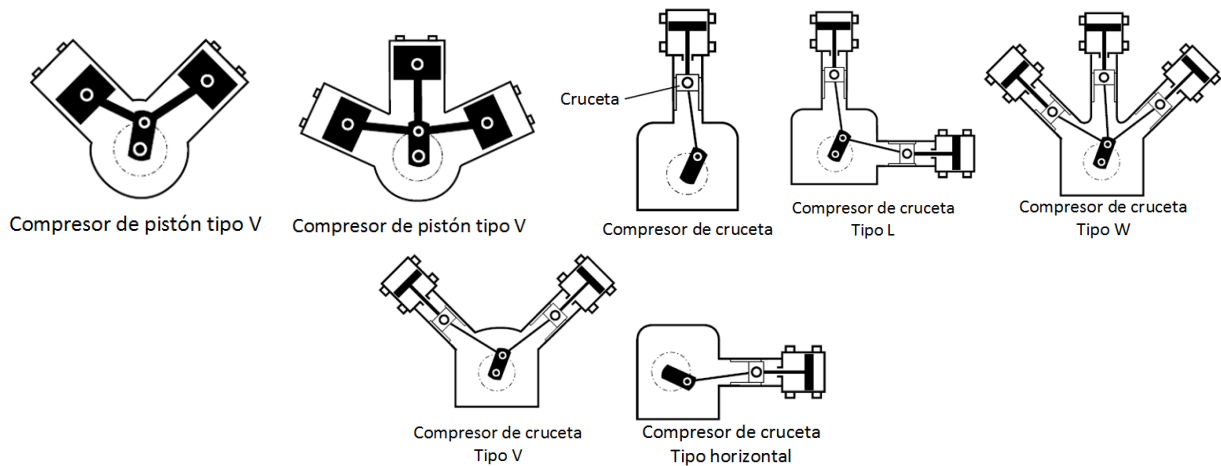
Este tipo de compresores puede utilizarse tanto un único cilindro, como en varios, permitiendo obtener mayores presiones de aire.

Figura 10 Componentes de compresor de piston



Del compresor de pistón, puede encontrarse variantes como lo muestra la siguiente figura

Figura 11 Compresores de embolo



4.1.2.1.1 Operación del compresor de embolo

Los compresores de pistón operan de acuerdo al principio de desplazamiento. El pistón es accionado por un mecanismo de biela manivela. El cilindro toma aire a través de la válvula de

admisión durante la carrera hacia abajo. La válvula se cierra al inicio de la carrera del pistón, el aire es comprimido y forzado a salir de la válvula de presión.

Figura 12 Funcionamiento de un pistón

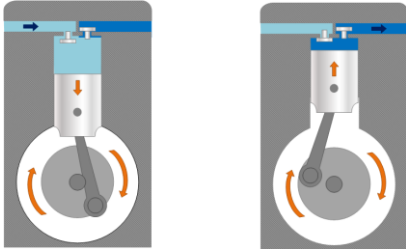
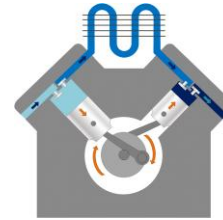


Figura 13 Funcionamiento de compresor de dos pistones



Los compresores de pistón están disponibles con uno y varios cilindros, en simple o múltiple etapa. Los compresores con múltiples cilindros son usados para mayores flujos de salida, por otro lado los de múltiples etapas son usados para presiones mayores.

En cuanto a las etapas, los compresores de simple etapa realizan la compresión al final de la carrera del pistón, mientras que los compresores de doble etapa, realizan una compresión de aire en el pistón en la primera etapa (etapa de baja presión), luego el aire se enfría en el enfriador intermedio y es comprimido hasta la presión final, en la segunda etapa (cilindro de alta presión).

En la compresión la velocidad de compresión o incluso la velocidad del motor pasa a segundo término, lo más importante en la evaluación de desgaste del compresor es la velocidad del pistón. Por lo que un compresor con baja velocidad y una carrera larga puede tener una alta velocidad de pistón. En contraste, compresores con alta velocidad y pequeña carrera tienen una baja velocidad del pistón.

4.1.2.1.2 Area de separación

El área de separación es una dimensión específica situada entre el punto muerto superior del pistón y el borde inferior de la válvula.

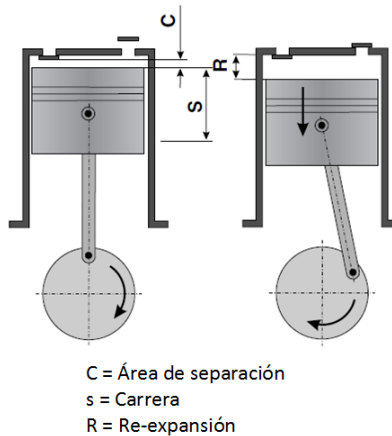
El área de separación incluye:

- Tolerancias Diseño
- Avidades en las válvulas y asientos de válvulas
- Consideraciones de diseño individuales

Durante la carrera descendente del pistón, el aire en la compresión se expande a presión atmosférica. Sólo en esta etapa y durante la carrera descendente continuada del pistón, se aspira aire desde fuera.

La diferencia entre la velocidad de succión y la de salida se produce porque durante la succión la presión del aire cae en el filtro de entrada, también se producen fugas, el aire aspirado se calienta y se produce una re-expansión en el espacio de compresión.

Figura 14 Area de separación



4.1.2.1.3 Enfriamiento en compresores de pistón

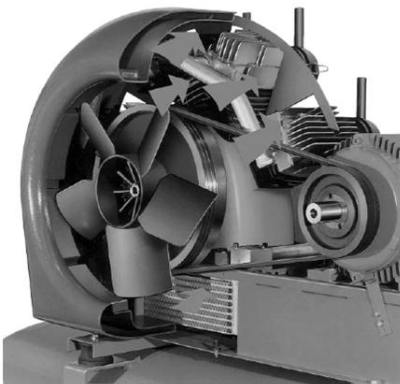
El calor es generado en todos los procesos de compresión, el grado de calentamiento depende de la presión final del compresor. A mayor presión final, mayor temperatura de compresión.

De acuerdo a las reglas de seguridad, la temperatura final de compresión en compresores con cámaras de lubricación de aceite presurizadas y simple etapa de compresión, un rango máximo del motor de 20 kW y un máximo de presión de 10 bar puede ser hasta de 220 °C.

Con mayores presiones y potencias mayores un máximo de temperatura de 220°C es permitido. En un compresión de múltiples etapas y presiones sobre los 10 bar la temperatura final máxima de compresión es de 160°C.

La mayor parte del calor de compresión debe ser después expulsado, ya que altas temperaturas de compresión en el aire pueden ser peligrosas debido a que una pequeña parte de aceite de lubricación es absorbida durante la compresión y puede llegar a ser flamable. Un incendio en la línea o el compresor sería el menor peligro, pero con temperaturas más altas, el peligro de explosión de aire comprimido es potencialmente mayor, debido a que la proporción de oxígeno contenido es mucho mayor que el aire atmosférico.

Figura 15 Dirección de aire de enfriamiento en compresor de piston



Por esta razón cada etapa del compresor tiene un intercooler y un post enfriador con el fin de enfriar el aire comprimido.

La cantidad de calor a disipar por el enfriador depende del aire entregado y de la presión. Los compresores de mayor presión tienen dos, tres, o más cilindros. Los cilindros debe estar localizados en la mejor posición respecto al aire de ventilación cada vez que sea posible. Con el fin de incrementar la transferencia de calor, las superficies de los cilindros y culatas son fabricadas con acanalados. Sin embargo, estas medidas no son suficientes para enfriar el aire comprimido a una menor temperatura. El aire comprimido debe también ser enfriado por un intercooler entre la primera y la segunda etapa, si esto no es suficiente, es necesaria la compresión en múltiples etapas.

Las regulaciones de seguridad para compresores reciprocantes lubricados estipulan que la temperatura de enfriamiento del aire debe estar entre los 60 °C y 80 °C después de la última etapa de compresión. Esto es benéfico para el consumidor porque el aire comprimido contiene menos humedad. Por otra parte, corriente abajo, los componentes del sistema como el receptor del compresor y el tratamiento de aire pueden ser diseñados a baja temperatura lo que reduce los costos de adquisición.

La temperatura de salida del aire comprimido en los compresores de piston enfriados por aire es aproximadamente 10 a 15 °C por encima de la temperatura ambiente, dependiendo de la calidad del compresor.

La mayoría de los pistones de embolo son enfriados por aire impulsado por un ventilador, el cual forza el aire frío sobre el intercooler y el postenfriador y también sobre el compresor. La ventaja de ser enfriado con aire es que el aire se encuentra casi siempre en cantidades ilimitadas.

Durante la compresión y el enfriamiento del aire comprimido, se forman condensados dentro del enfriador. Estos condensados son captados por la velocidad del aire comprimido y llevados a las líneas de trabajo y al tanque de aire comprimido.

4.1.2.1.5 Control de compresores de embolo

Los compresores de embolo son normalmente controlados por interruptores de presión (presostatos), los cuales deben ser colocados en una zona estable, como en el receptor y no entre el compresor y el receptor.

Los presostatos paran el compresor a la máxima presión y lo vuelven a arrancar al 20 % debajo de la máxima presión. La actuación ocurre de 8:10 bar y 12 a 15 bar.

Un diferencial pequeño no es recomendado ya que el ciclo de trabajo del compresor incrementa y con ello su uso y el del motor. La presión de corte de arranque puede ser reducida con la presión de corte de paro si esta se mantiene constante. Esto tiene la ventaja de que el compresor tiene tiempos de operación largos, pero también tiempos de descanso prolongados. Es conveniente mencionar que la presión de corte de arranque nunca debe ser menor a la presión de trabajo requerida.

Los compresores de piston son particularmente utilizados para picos de demanda, en donde solo operan cuando la demanda de aire comprimido se incrementa.

4.1.2.2 Compresores de diafragma

Su funcionamiento es similar al de pistones. La diferencia proviene en la existencia de una membrana entre el aire y el pistón, permitiendo disponer de una mayor superficie útil y evitar el contacto del aire con el aceite de lubricación. Este tipo de compresor es para caudales de aire reducidos y presiones inferiores a los 7 bares.

Figura 16 Compresor de diafragma



COMPRESOR DE DIAFRAGMA GONI 954



FUNCIONAMIENTO COMPRESOR DE DIAFRAGMA

Distinguimos en esta categoría lo siguiente:

- Compresores de diafragma mecánico: su uso se limita a pequeñas instalaciones donde se requieren caudal y presiones bajas, tales como bombas de vacío.
- Compresores de diafragma hidráulico: su uso es para instalaciones de alta presión.

Condiciones estándares:

- Caudal: 30m³/h

- Presión: 7 bares.

Ventajas

- Precio bajo (hasta un 50% más económico que otros tipos de compresores)
- Mantenimiento relativamente sencillo
- Tecnología muy frecuente utilizada en el sector industrial
- Se logran altas presiones en base al número de etapas instaladas.

Inconvenientes:

- Regulación poco precisa, se ajusta a las etapas de funcionamiento.
- Equipos voluminosos en base al número de etapas.
- Temperaturas de descarga del aire elevadas
- Flujo de aire alterno que puede perjudicar los equipos consumidores si no se utiliza depósito pulmón

4.1.3 Compresores rotativos

Este tipo de compresor se basa en las leyes de la dinámica de fluidos, transformando la energía cinética de un fluido en energía de presión.

A continuación se enumeran los compresores rotativos más comunes:

4.1.3.1 Compresor de paletas

El aire es introducido al interior del compresor a través de un deflector acústico. Posteriormente, al aire atraviesa un filtro y se mezcla con un lubricante antes de ser inyectado al estator.

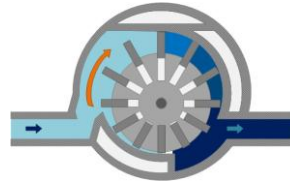
Los compresores de paletas están constituidos por un rotor en el cual van colocadas las paletas, de eje excéntrico con el estator.

Estas paletas están fabricadas en aleaciones especiales de fundición.

Figura 17 Compresor de paletas



COMPRESOR DE PALETA ROTATIVAS
COMPAIR



FUNCIONAMIENTO COMPRESOR DE
PALETA ROTATIVAS

En el momento del giro, los huecos existentes entre las paletas y el estator atrapan aire que se ve comprimido por la fuerza centrífuga de giro.

Este tipo de tecnología se caracteriza por su funcionamiento silencioso y la entrega de un caudal constante.

Condiciones estándares:

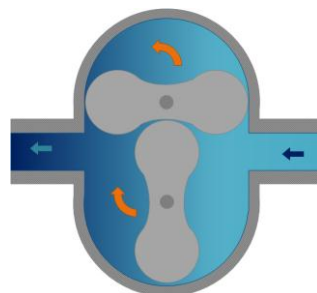
- Caudal: 50 m³/h
- Presión: 7 bares

4.1.3.2 Compresor de lóbulos o Roots:

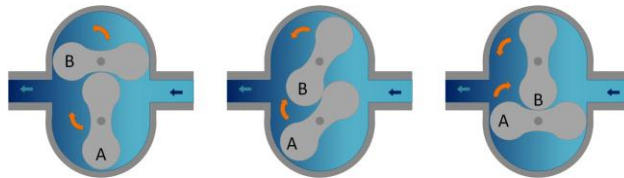
Este tipo de compresor también denominado como soplante, dispone de un gran campo de aplicaciones en instalaciones de baja presión. Su funcionamiento se basa en el giro de dos rotores conectados a ruedas dentadas que giran a la misma velocidad pero en sentido contrario, permitiendo la compresión y bombeo del aire. Estos rotores están conectados a un sistema externo de engranes lubricados por baño de aceite. No existe rozamiento entre los rotores, evitando la lubricación interior del sistema.

Este compresor dispone de un bajo rendimiento que se ve afectado según aumenta la velocidad de giro.

Figura 18 Compresor de lóbulos o Roots



Funcionamiento compresor ROOTS



Su uso se limita a instalaciones de muy baja presión.

Condiciones estándares:

- Caudal: 1500m³/h.
- Presión: 1-2 bares

A continuación se mencionan las ventajas e inconvenientes de este tipo de compresores:

Ventajas

- Desgaste bajo
- Ocupan poco espacio
- Flujo continuo sin pulsaciones
- No hay residuos de lubricantes en el aire

Inconvenientes:

- Rendimiento bajo que empeora con la velocidad de giro
- Temperatura del aire a la salida elevada
- Regulación compleja
- Presiones bajas

4.1.3.3 Compresor de tornillo

Se trata de una de las tecnologías recientes y por lo tanto resulta costosa. Se caracteriza por una larga vida útil y un funcionamiento muy silencioso.

En comparación con un compresor de pistones, es de relativa nueva construcción, aunque fue desarrollado desde principios del 1878 por Heinrich Krigar la construcción fue perfeccionada después de la segunda guerra mundial.

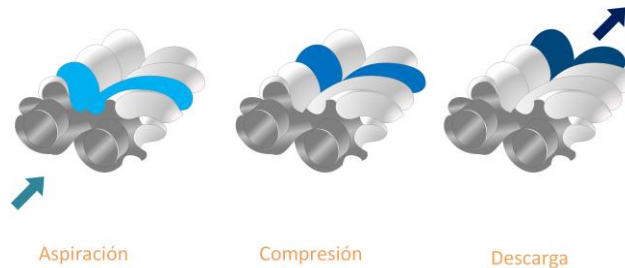
Su funcionamiento opera bajo el principio de desplazamiento y se basa en el giro de dos rotors helicoidales paralelos, macho y hembra, que giran en el interior de una envolvente. Esa rotación genera la compresión del aire que circula por su interior.

La lubricación se realiza por la introducción de aceite en la cámara de compresión.

Figura 19 Compresor tornillo



Figura 20 Funcionamiento de compresor de tornillo



El funcionamiento es el siguiente:

- Aspiración. El aire entra a través de la apertura de admisión entre la apertura del perfil del lado de admisión de los tornillos
- Compresión. La apertura de admisión de aire es cerrada por la rotación continua de los tornillos, el volumen se reduce y la presión incrementa. Durante este proceso es inyectado aceite para lubricación.
- Descarga. El proceso de compresión es completado, la presión final es alcanzada y la descarga comienza.

Condiciones estándares:

- Caudal: 24.000m³/h
- Presión: 10 bares hasta 20 bares con varias etapas

Como ventajas e inconvenientes de la tecnología de tornillo se destaca lo siguiente:

Ventajas

- Mantenimiento reducido
- Dispone de pocas piezas mecánicas lo que reduce el riesgo de roturas

Inconvenientes

- Costo elevado
- El mantenimiento debe ser realizado por personal cualifica y con alta especialización

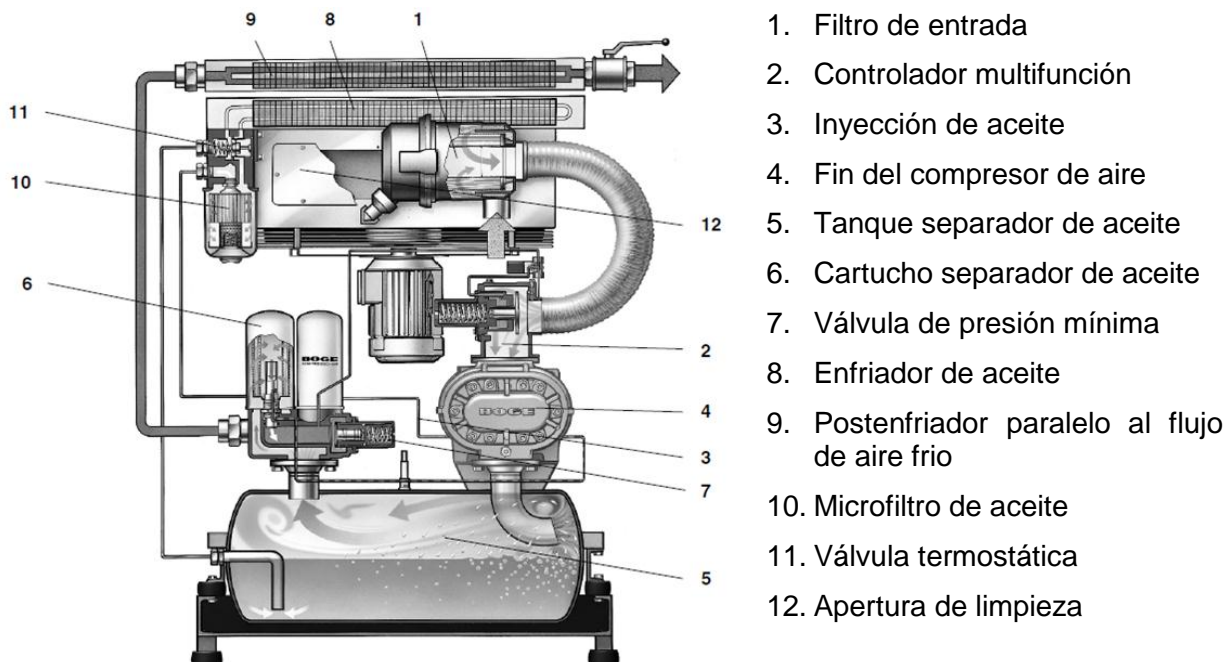
4.1.3.3.1 Operación de compresor de tornillo

El aire de la atmosfera es succionado a través del filto de aspiración ciclónica (1) dispuesto de un cartucho de papel de microfiltro. Después, pasa a través del controlador de succión multifunción (2) el aire entra en la etapa del compresor y se comprime (4). El aceite continueamente enfriado es inyectado (3) a la etapa del compresor. El aceite absorbe y disipa el calor generado durante la compresión que aumenta la temperatura. Según la normativa de la comunidad europea (CE) la temperatura final de compresión en esa maquinaria no puede exceder de 110 °C.

Una gran porción del aceite es separado en el recipiente de separación (5) El aceite residual se elimina en el aire hacia abajo por el cartucho separador de aceite (6). El aire comprimido pasa a continuación a través de una válvula de presión mínima (7) al postenfriador (9) donde es enfriado a una temperatura apenas de 8°C por encima de la temperatura ambiente.

El aceite en el separador es enfriado de 85°C a 55 °C en el enfriador de aceite (8). Después el aceite pasa por el filtro de aceite (10). Una válvula termostática (11) en el circuito de aceite asegura que el aceite este a la temperatura ideal en cada fase de operación.

Figura 21 Diagrama de compresor de tornillo (BOGE)



4.1.3.3.2 Enfriamiento de compresores de tornillo

El aceite remueve aproximadamente el 85% del calor de compresión de los compresores de tornillo. Cuando se usa un intercambiador de calor, el calor puede ser extraído del aceite y usado para calentamiento de agua o algún otro uso.

El agua que pasa a través del intercambiador de calor es calentada hasta 70°C, la cantidad de agua que se puede disponer depende del diferencial de temperatura.

4.1.3.4 Compresor scroll

El compresor SCROLL está compuesto de dos rodillos idénticos en forma de espiral. El primero esta fijo, mientras que el segundo realiza movimientos circulares continuos. Las espirales están desfasadas de 180°.

El movimiento orbital conlleva el desplazamiento de las bolsas de aire hacia el centro, reduciendo progresivamente el volumen. Este fenómeno produce por lo tanto la compresión del aire.

El número de piezas mecánicas con respecto a un compresor de pistón de potencia similar se reduce en aproximadamente un 60%. Una única espiral reemplaza los pistones, bielas, clapetas, etc. Esta reducción de piezas mecánicas reduce evidentemente los rozamientos y por lo tanto incrementa el rendimiento del equipo.

Figura 22 Compresor Scroll



4.2 Componentes típicos

En un compresor tenemos diferentes dispositivos que son comunes en algunos tipos de compresor, los cuales permiten la operación del sistema de aire comprimido, como lo son:

- Motor
- Bandas motoras
- Bandas de transmisión
- Valvula de admisión y de presión
- Valvula de seguridad
- Filtro de admisión

4.3 Control de compresores

La importancia del control es reducir al mínimo el consumo de energía y el desgaste, y con ello, aumentar la disponibilidad del equipo.

4.3.1 Presión

Hay varios tipos de control, dependiendo del tipo de construcción, el tamaño y el área de aplicación:

- La presión final (presión de la red).
- La presión de entrada.
- El flujo de volumen generado.
- La potencia absorbida del motor del compresor.
- Las condiciones climáticas de humedad del compresor después de la etapa del compresor.

El control de la presión final es la más importante de todas las tareas de control. Con ello entramos a definir brevemente las presiones que intervienen en el sistema:

- Presión de trabajo.- Es la presión a la salida del compresor, antes de la valvula de salida. Esta es la presión en la línea de trabajo.
- Presión objetivo de trabajo.- Es la presión mínima que se espera este disponible en la red de trabajo
- Presión del sistema.- Es la presión en el interior de un compresor de tornillo hasta la válvula de retención de presión mínima.
- Presión de corte de arranque.- Es la presión bajo la cual el compresor arranca, debe ser al menos 0.5 bar por encima de la presión de operación de la red

- Presión de paro.- Es la presión por encima de la cual el compresor se apaga. Para compresores de pistón debe ser aproximadamente 20% más que la presión de corte de arranque. En compresores de tornillo esta presión debe ser de 0.5 a 1 bar sobre la presión de arranque.

4.3.2 Estado de operación

Es el estado en el que se encuentra operando el compresor, es la base para el control del compresor.

4.3.2.1 Parado

En este estado, el compresor está detenido pero disponible para operar.

4.3.2.2 Operación en reposo

El compresor está en marcha sin carga y no está siendo comprimido aire (la energía utilizada para compresión es ahorrada) Si se necesita aire comprimido cambia al modo funcionamiento sin demora. Este modo de operación reduce los ciclos de operación del motor.

En este modo se pueden aplicar diversos modos de control:

Conmutación del flujo de retorno.-Las válvulas de admisión del compresor están abiertas durante el proceso de compresión. El aire no comprimido fluye de nuevo al lado de admisión.

El método de flujo de retorno es adecuado para el alivio de puesta en marcha, ya que la primera carrera de trabajo está ya completamente aliviado.

Cierre de la línea de admisión.- Una válvula cierra la línea de admisión del compresor. El volumen de la ingesta se reduce a cero y no hay aire disponible para la compresión. Las pérdidas de presión son bajas.

Cierre de la línea de presión.- Una válvula cierra la línea de presión del compresor. El aire comprimido no puede ser suministrado. No puede haber flujo

4.3.2.3 Carga parcial

La salida del compresor es ajustada a los requerimientos de aire comprimido. El consumo de energía cae ligeramente si la salida es menor. La presión de red se mantiene constante.

Existen diferentes métodos de control para este modo de operación:

Control de velocidad:

Cambiando el control de velocidad también se varía la salida del compresor. Esto ocurre principalmente con los compresores con variador de frecuencia.

La salida es controlada económicamente entre 25% y 100%.

Control de la cámara de emergencia:

Al aumentar el espacio muerto, hay una expansión inversa más fuerte del aire comprimido. Si varias cámaras de emergencia se abren uno después del otro la salida se puede reducir en pasos. También hay variaciones por las que una cámara de emergencia se puede ampliar de forma continua.

Control de flujo de retorno:

La salida de los compresores se reduce mediante la apertura de las válvulas de admisión durante la carrera de compresión. El tiempo de apertura de las válvulas de admisión determina la cantidad en que se reduce el flujo de volumen comprimido.

Un control de carga parcial de aprox. 25 a 100% de la producción es posible. Cuando la válvula de admisión está abierta para la carrera de compresión completa la salida cae a cero.

Regulación proporcional

Un acelerador ajustable en la línea de admisión reduce el volumen de admisión. Cuando la presión del sistema cae, la válvula se abre en consecuencia, el compresor toma más aire, y la salida se eleva. Tan pronto como la presión del sistema se hace constante la válvula de mariposa se cierra y el compresor funciona en el modo de marcha en vacío.

La salida varía entre 0 - 100%. La demanda de potencia eléctrica que exceda del 70% durante este tiempo.

4.3.2.4 Carga de operación

En este modo de operación, el compresor entrega su potencia máxima y consume su máxima energía

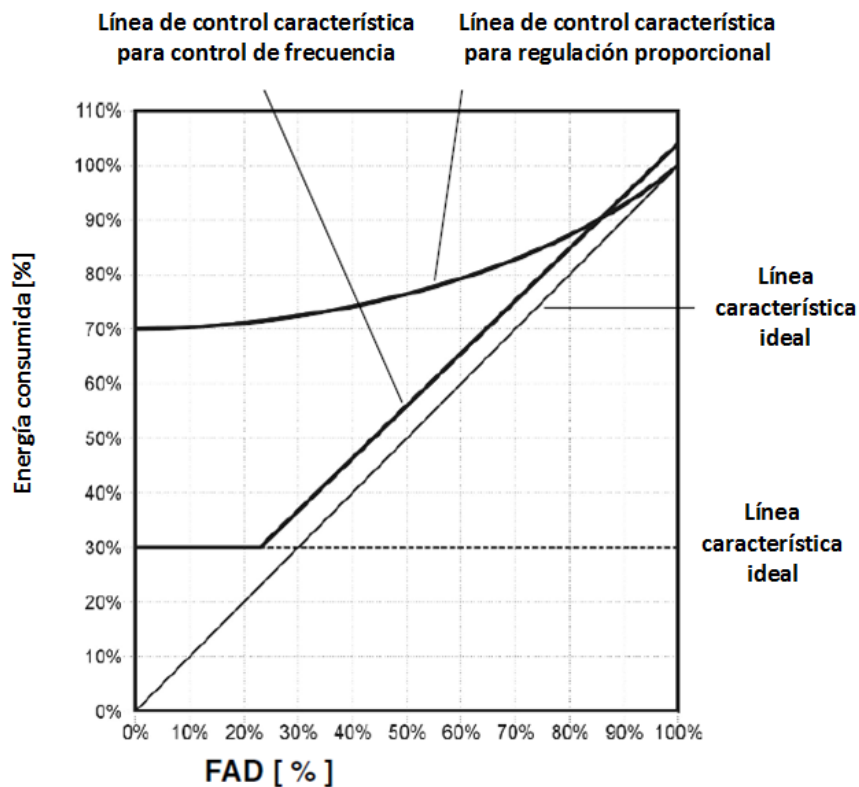
4.3.3 Control de frecuencia

El control de frecuencia permite una regulación muy grande del aire entregado (por sus siglas en inglés FAD) desde 25% hasta 100%. La adaptación a las diferentes necesidades de aire comprimido está asegurada por el ajuste infinito de la velocidad del motor, que es accionado por un variador de frecuencia con regulación de la velocidad respecto a la salida de aire del compresor.

El convertidor de frecuencia está diseñado para arranques suaves y paradas del motor de accionamiento. Incluso durante la fase de encendido, la corriente de arranque no supera la corriente nominal, lo que puede ser de alguna ventaja en el suministro de energía, ya que el equipo opera a mayor eficiencia.

Si la salida cae por debajo de 25%, el compresor está trabajando de manera poco eficiente. Dependiendo del ciclo de conmutación del compresor sea apago o continuo en modo inactivo. Debido a la adaptación variable del suministro de aire, operaciones de conmutación y el modo de reposo son ampliamente evitadas permitiendo así que el compresor de tornillo pueda trabajar realmente en la operación continua de la manera más eficiente posible.

Figura 23 Control de frecuencia y consumo de energía



Debido a que el convertidor de frecuencia ocasiona pérdidas, la potencia absorbida por un compresor controlado de frecuencia es, a plena carga, aproximadamente entre 3% y 5% mayor que la de un compresor no controlado. Por otro lado, cuando el ajuste de la cantidad de aire entregado por el cambio de la velocidad del motor y, en consecuencia, la velocidad del extremo de aire del compresor, el control de frecuencia sirve para casi proporcionalmente reducir la potencia absorbida al mismo tiempo. El control de la frecuencia resulta ser especialmente ventajoso cuando se trata de velocidades de flujo más pequeñas, donde la regulación proporcional por medio del control de succión parece funcionar de una manera bastante ineficiente. Teniendo en cuenta las dos líneas de identificación, es obvio que con caudales promedio entre 100% hasta aprox. 85% el uso de la regulación proporcional es mucho más

económico, mientras que para valores más bajos el control de frecuencia tiene mayores ventajas.

Por lo tanto se deduce que el control de frecuencia es ideal para su uso incluso con caudales bajos con diferentes considerablemente la demanda de aire comprimido.

Debido a la amplia gama de ajustes de frecuencia, es posible, incluso en caso de poco consumo de aire, para adaptar el suministro de aire a la demanda real en el aire comprimido y para evitar casi por completo la conmutación y marcha en vacío.

En circunstancias ideales, el control de la tasa de flujo puede ser usado para mantener constantemente la presión neta a una tolerancia 0,1 bar. Cualquier exceso de compresión, como es normal con los compresores no controlados debido a la diferencia entre el encendido y las presiones de conexión y desconexión, de este modo se puede evitar lo que resulta en un ahorro de energía del 6% hasta el 10% por cada 1 bar de alta compresión.

Debido a su continua y amplia regulación de flujo de volumen del control de frecuencia es perfectamente adecuado para diferentes demandas fuertemente en el consumo de aire comprimido con vistas a ambos compresores individuales y compresores de carga máxima en un sistema compresor.

Dependiendo de las circunstancias prevalecientes, todos los ahorros de energía resultantes de la utilización de un control de frecuencia son inmensas. El potencial de ahorro se puede lograr mediante la eliminación de alta compresión, la minimización de los tiempos de marcha en vacío y las pérdidas debidas a los ciclos de conmutación del compresor, así como la adaptación de la potencia absorbida a la cantidad realmente necesaria y de aire comprimido entregado.

También para el caso mencionado anteriormente de la regulación proporcional utilizando el regulador de succión potencial de ahorro similar puede lograrse en los casos de las fluctuaciones de flujo de aire más bajos.

4.4 Tratamiento del aire

El aire atmosférico contiene impurezas que son aspiradas por el compresor e introducidas al conjunto de la instalación.

4.4.1 Impurezas

El aire comprimido llega a contener hasta:

- 180 millones de partículas de tamaños comprendidos entre 0.01 μm a 100 μm .
- 5 a 40 g/m^3 de agua bajo forma de vapor de agua
- a 0.03 mg/m^3 de aceite bajo forma de aerosoles y aceites
- Partículas de desgaste del compresor y metales pesados

El tipo y calidad del aire depende exclusivamente de la zona geográfica, de la época del año y de la temperatura.

El efecto de comprimir el aire afecta la tasa de concentración de las impurezas. Si el compresor comprime el aire atmosférico a 7 bares relativos (8 bares absolutos), existirá una concentración de impurezas 8 veces más elevada.

4.4.2 Vapor de agua

El aire atmosférico, cuya composición es 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 1% de gases raros (argón dióxido de carbono, entre otros), contiene una cantidad de vapor de agua que varía según la temperatura y presión atmosférica.

Ese vapor contenido en el aire, puede llegar a condensar cuando la temperatura se sitúa por debajo del punto de rocío del aire.

El aire que es comprimido dentro del compresor, se calienta por encima de los 70°C en las tecnologías de tornillo y hasta los 150°C en tecnologías de pistón. Por ello, el vapor de agua se mantiene bajo forma gaseosa y en el momento que se enfría puede llegar a temperaturas por debajo del punto de rocío generando agua dentro de las instalaciones y causando:

- Corrosión
- Ácidos agresivos combinándose con los residuos de aceite
- Consumos excesivos por el aumento de la pérdida de carga
- Rotura de las juntas de los equipos consumidores, hasta avería en los mismos.

4.4.3 Calidad del aire comprimido

Cada tipo de proceso industrial requiere de características específicas en cuanto a calidad del aire a utilizar. La norma internacional ISO 8573-1 clasifica las calidades del aire comprimido en base a tres factores

1. Suciedad: considerando el tamaño de las partículas sólidas y la cantidad máxima admisible por m³ de aire.
2. Agua: según el punto de rocío a presión alcanzado y el contenido de vapor de agua en suspensión.
3. Aceite: por la concentración total (aerosoles, líquidos y vapores).

Tabla 3 Calidad de aire comprimido

ISO8573-1-2010 CLASE	Partículas solidas				Agua		Aceite
	Número máximo de partículas			Concentración másica mg/m ³	Punto de roció a vapor	Líquida g/m ³	Concentración total de aceite (líquido, aerosol y vapor)
	0.1-0.5 micras	0.5-1 micras	1-5 micras				mg/m ³
0	Tal y como se especifique por parte del proveedor del equipo y más estrictos que los de la Clase 1.						
1	≤20,000	≤400	≤10	-	≤-70°	-	0.01
2	≤400,000	≤6,000	≤100	-	≤-40°	-	0.1
3	-	≤90,000	≤1000	-	≤-20°	-	1
4	-	-	≤10000	-	≤+3°	-	5
5	-	-	≤100000	-	≤+7°	-	-
6	--	-	-	≤5	≤+10°	-	-
7	-	-	-	5-10	-	≤0.5	-
8	-	-	-	-	-	0.5-5	-
9	-	-	-	-	-	5-10	-
X	-	-	-	>10	-	>10	>10

4.4.4 Tecnologías de filtración

La calidad del aire comprimido en una instalación depende de su pureza que es determinada por la cantidad de partículas sólidas, líquidas y gaseosas presentes.

Para controlar esta calidad, se utilizan los siguientes componentes:

- Filtros
- Separadores de agua
- Regulador de presión
- Lubricador

4.4.4.1 Filtros

El tipo de filtro a utilizar depende de la instalación y de las exigencias a nivel de partículas requeridas.

Para la mayor parte de equipos consumidores tales como distribuidores, accionadores, se utilizarán filtros estándar, cuyo diámetro de 5 μm .

4.4.4.2 Clasificación de los filtros en base a su capacidad de filtración

Filtros: los filtros comunes pueden retener partículas con tamaños comprendidos entre 40 μm a 5 μm .

Micro filtros: esta tipología de filtro puede retener partículas de tamaños superiores a 0.1 μm .

Filtro sub-micronico: Este filtro retiene partículas con tamaños superiores a 0.01 μm , pero requiere de la instalación de un filtro con capacidad de 5 μm .

Filtro de carbón activo: van hasta 0.003 μm , lo cual implica que pueden retener sustancias aromatizantes u odoríferas.

Clasificación de los filtros en base a su principio de filtrado:

- Filtros de partículas: esta tipología de filtros retienen partículas sólidas a través de un elemento filtrante que puede ser de:
 - Papel
 - Rejilla metálica
 - Malla de nylon
 - Espumas, entre otros.
- Filtros coalescentes: se trata de filtros destinados a retener lubricantes, emulsiones y neblinas, a través del principio de coalescencia. Este principio se basa en tener una red aleatoria de fibras, donde el aire que la atraviesa, genera gotas alrededor de las fibras, que posteriormente se evacuan a un recipiente de acumulación. Esto permite retener partículas sólidas de menor tamaño que los filtros de partículas. Por lo tanto, se recomienda la instalación de un filtro de partículas antes del filtro coalescente con el fin de evitar su saturación.
- Filtros de vapores: Estos filtros están destinados a eliminar olores, sabores y vapores de origen orgánico. Su funcionamiento se basa en lechos de carbón activado que mediante adsorción remueven estos contaminantes.

4.4.5 Tecnologías de secado del aire

El uso de filtros a aire comprimido equipados de purgas de condensados permite la eliminación de aceites, agua y partículas del circuito de distribución. En muchos casos este tipo de medida es insuficiente para garantizar unas condiciones idóneas del aire.

Está claro que los sistemas y procesos industriales, hoy en día, requieren de una calidad de aire elevada, implicando el uso de secadores de aire. Existen numerosas tecnologías para el secado y cuya selección se realizará en base a la calidad del aire requerida, caudal y presión de uso.

4.4.5.1 Secado por condensación

La cantidad de agua contenida en el aire disminuye en base al aumento de la presión y por la reducción del volumen. Una gran cantidad de condensados se forman cuando se efectúa una compresión elevada cercana a los 35 bares. En ese momento, el condensado es evacuado y la humedad absoluta del aire comprimido disminuye. Cuando el aire recobra valores de presión solicitados, la humedad relativa es disminuida.

Se trata de un proceso simple que permite un caudal constante. No requiere de un sistema de enfriamiento y su inversión es relativamente reducida. Sin embargo, dispone de una eficacia energética muy baja.

4.4.5.2 Secado por refrigeración

Este tipo de secado se efectúa en dos etapas bien diferenciadas:

- El aire entrante es enfriado en un intercambiador aire-aire con el aire saliente, obteniendo una tasa de condensación del 70%.
- Posteriormente, el aire pasa a través del evaporador de un sistema frigorífico donde es enfriado a una temperatura cercana a la de congelación. En esta etapa el condensado es desaguado antes de que el aire pase por el intercambiador.

Existe la posibilidad de utilizar un depósito de fluido frío, pero en este caso estamos en presencia de un secado por refrigeración cíclica.

La eficacia energética de este sistema es elevada y ofrece una separación de las impurezas cercana al 100%. No genera pérdidas de carga excesivas (± 0.2 bares)

4.4.5.3 Secado por difusión en un diafragma

El aire comprimido circula en el interior de fibras huecas. En el momento de su paso, el vapor de agua contenido en el aire comprimido es evacuado hacia el exterior a través de manguito de fibras huecas. Un cierto flujo de aire de limpieza es extraído del sistema y conducido al manguito.

Un filtro ultra fino de $0.01 \mu\text{m}$ debe ser instalado antes del secador. La pérdida de carga de este filtro suelo ser cercana a 1 bar, lo que implica un sobre consumo importante del compresor.

Sin embargo, el secador no presenta una pérdida de carga elevada (± 0.2 bar).

4.4.5.4 Sorción por absorción

En el momento de la absorción, el aire comprimido atraviesa un deshidratador y por reacción química, le transfiere una parte del vapor de agua. Un sistema de desagüe conduce el condensado generado hacia un depósito. El poder de absorción de estos agentes de secado higroscópicos, que sean de tipo líquido o sólido, disminuyen con el tiempo, implicando recarga regulares.

Se caracteriza por una temperatura de entrada reducida y por la generación de una corrosión excesiva en las líneas de distribución por el contacto del aire con deshidratadores.

4.4.5.5 Sorción por adsorción

En el momento de la adsorción, el aire comprimido atraviesa un depósito que contiene compuestos adsorbentes. El vapor de agua se fija en el agente adsorbente por fuerzas de adhesión, y posteriormente es secado de forma mecánica. Después de un cierto lapso de tiempo, el compuesto adsorbente se satura y debe ser regenerado para iniciar nuevamente su ciclo. Con objeto de garantizar una alimentación continua de aire comprimido, este tipo de secador dispone de dos depósitos que funcionan alternamente. Uno de ellos estará en ciclo de adsorción mientras el segundo se encuentra en fase de regeneración.

Existen cuatro grandes principios de regeneración:

- Regeneración sin calor en el que el caudal de aire de limpieza es retirado a la salida del secador.
- Regeneración a calor interno en el que resistencias de calefacción situadas al interior del contenedor de adsorbente calientan los agentes hasta que las fuerzas de adhesión sean vencidas. Un ligero caudal de aire seco es retirado con el fin de evacuar el agua.
- Regeneración a calor externo en el que una resistencia calienta el aire ambiente impulsado por un ventilador a través del depósito y se evacua a través de una válvula de escape.
- Regeneración por vacío que funciona según los mismos principios que la regeneración por calor externo. Con la única diferencia que el aire ambiente es aspirado a través del depósito que se debe regenerar por una bomba de vacío. Ese aire se carga de humedad en el momento que atraviesa el depósito para ser posteriormente evacuado.

Se requiere de un sistema de filtración tanto antes como después del secador con sus correspondientes pérdidas de carga y sobreconsumo del compresor. Este tipo de sistema es demandante energéticamente por el uso de aire seco en la fase de regeneración (menos en el sistema de vacío).

Se caracteriza por ser un sistema de larga vida útil y uso de altas temperaturas.

4.4.5.6 Ubicación del secador

Es posible instalar el secador de aire en el circuito de distribución en dos configuraciones posibles.

- Antes del depósito de almacenamiento de aire
- Después del depósito de aire comprimido.

Ambos casos presentan, una serie de ventajas e inconvenientes, que a continuación detallaremos.

4.4.5.6.1 Secador de aire instalado antes del depósito

Esta configuración presenta las siguientes ventajas

- Aire seco presente dentro del depósito de almacenamiento
- Entrega continua de aire comprimido ya que existe un depósito con capacidad de suministro de aire seco

Sin embargo, tiene una serie de inconvenientes que se enumeran a continuación

- El secador debe estar dimensionado a la capacidad de flujo del compresor. En la mayoría de las ocasiones estos compresores están sobredimensionados.
- En el caso de que el equipo de compresión sea de tipo pistón, el aire entrante al secador será pulsado lo que implica tensiones al material.
- El aire entrante del secador está a altas temperaturas
- Como el primer elemento es el secador, gran parte de la condensación se realizará en este elemento, generando grandes cantidades de agua.

4.4.5.6.2 Secador de aire instalado después del depósito

En este caso, se distinguen las siguientes ventajas:

El secador puede ser dimensionado con respecto a la demanda real, que suele ser muy inferior a la de producción del compresor.

El aire entrante al secador es más frío debido al enfriamiento obtenido en el almacenamiento.

El condensado que se produce en el depósito es purgado y por lo tanto la cantidad de vapor condensado por el secador es menor que en la otra configuración.

Los inconvenientes son los siguientes:

- Al existir condensación en el depósito se puede acelerar la corrosión del material.
- Es indispensable vigilar el correcto funcionamiento de la purga ya que existe el riesgo de que se inunde.
- Cuando el caudal de aire comprimido es elevado, el secador estará sometido a fuertes sobrecargas y riesgo de aumento de humedad en el aire.

4.4.5.8 Efectos de la ubicación de la red sobre el sistema de secado

La ubicación del circuito de aire comprimido tiene una gran importancia en las características del secador, y concretamente sobre la temperatura en la cual el aire deberá ser distribuido.

Una línea de aire comprimido ubicada en el exterior estará sometida a bajas temperaturas, obligando que el aire sea secado por debajo de las mínimas temperaturas exteriores.

A la inversa, si la red se encuentra ubicada en el interior del recinto, la temperatura será mayor implicando temperaturas de secado más altas.

Figura 24 Características de secado

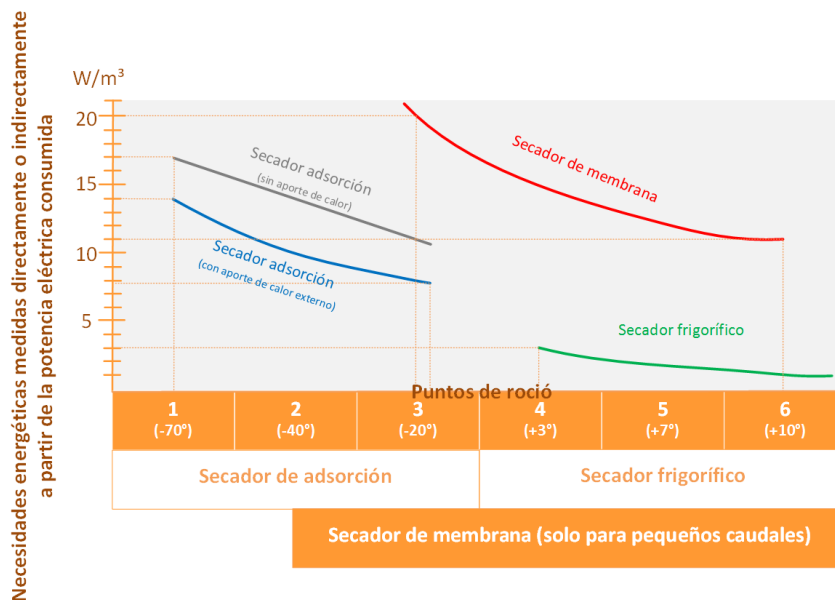


Tabla 4 Tecnologías de secado

Tipo de secador	Punto de rocío (°C)	Presión de servicio (bares)	Caudal	Temperatura de entrada (°C)
			(m³/h)	
Condensación por sobre presión	-70°	Según el compresor	Según el compresor	-
Condensación por refrigeración	+2°	<210 bares	11 a 35000 m³/h	<60°C
Difusión en diafragma	-20° a 0°	5 a 12.5 bares	11 a 130 m³/h	2 a 60°C
Sorción por absorción	Disminuido de 8 a 12%	-	-	<30°C
Sorción por adsorción	-40 a -90°C	2 a 16 bares	200 a 15000 m³/h	40 a 150°C

4.5 Tratamiento de los condensados

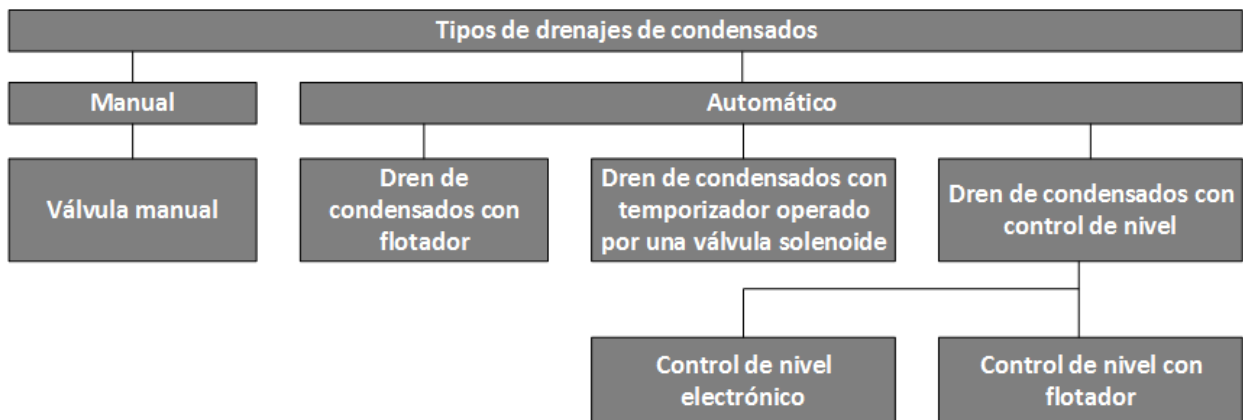
En todas partes de condensado se produce en un sistema neumático que también tiene que ser drenado. Si no lo es, el flujo de aire que lleva con él, y entra en la tubería.

El hecho de que los tanques de recogida de condensados están bajo presión hace que los drenajes de condensado sean costosos. El condensado se tiene que evacuar bajo control a la pérdida de presión innecesaria.

También debe tenerse en cuenta que los condensados no se producen sobre una base continua. La cantidad de cambios de condensado con la temperatura y la humedad del aire aspirado por el compresor.

El resumen muestra los distintos tipos de construcción de acuerdo con su método de operación.

Figura 25 Tipos de drenajes de condensados



Al seleccionar drenajes de condensación, independientemente del tipo de construcción, el propio condensado y las condiciones marginales siempre deben ser tomados en consideración.

Aplicaciones especiales requieren formas especiales de drenaje de condensación:

- Condensados muy agresivos.
- Condensados pastosos.
- Zonas con peligro de explosión.
- Baja presión y redes de vacío parcial.
- Redes de alta y muy alta presión.

Los drenajes de condensación no se pueden utilizar sin calefacción en temperaturas bajo cero, ya que corre el riesgo de que se congelen.

5 REQUERIMIENTOS DE AIRE COMPRIMIDO

5.1 Consumos

El primer paso en el diseño de una estación de compresión y la respectiva red neumática es determinar el requisito de aire comprimido y el aire libre entregado (FAD) resultante del compresor.

El primer valor que se encuentra cuando se determina la capacidad de una estación de compresión es el consumo total esperado. El consumo de los dispositivos de consumo individuales se suma y se ajusta a las condiciones de funcionamiento con la ayuda de cálculos.

La pérdida por fugas también debe tenerse en cuenta al determinar el consumo esperado de aire comprimido.

La determinación del consumo total de aire comprimido es a menudo difícil debido a la falta de información sobre los componentes individuales. Este capítulo proporciona valores de referencia para los requisitos de los componentes individuales.

La información dada aquí en relación con el consumo de los dispositivos individuales, son valores medios. Debe verificarse con los datos del sitio y con los fabricantes de los dispositivos de cifras exactas.

5.1.1 Consumo de aire por boquillas cilíndricas

Tabla 5 Consumo en l/min de boquillas cilíndricas

Ø [mm]	Presión de operación [bar _{op}]						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	8	10	12	15	18	22	28
1,0	25	35	45	55	65	75	85
1,5	60	75	95	110	130	150	170
2,0	105	145	180	220	250	290	330
2,5	175	225	280	325	380	430	480
3,0	230	370	400	465	540	710	790






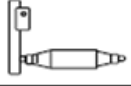


5.1.3 Consumo de aire por aspersores de pintura

Tabla 6 Consumo de aire por aspersores [l/min]

Ø [mm]	Presión de operación [bar _{op}] Aspersión plana y ancha						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	100	115	135	160	185	–	–
0,8	110	130	155	180	225	–	–
1,0	125	150	175	200	240	–	–
1,2	140	165	185	210	250	–	–
1,5	160	180	200	225	260	–	–
1,8	175	200	220	250	280	–	–
2,0	185	210	235	265	295	–	–
2,5	210	230	260	300	340	–	–
3,0	230	250	290	330	375	–	–

5.1.4 Herramienta de trabajo

Tabla 7 Consumo de aire por herramientas de trabajo

Herramienta Presión de trabajo 6 bar		Consumo de aire [l/min]
	Taladro Drill up to 4 mm Ø 4 – 10 mm Ø 10 – 32 mm Ø	200 200 – 450 450 – 1750
	Atornillador M3 M4 – M5 M6 – M8	180 250 420
	Tornillo de accionamiento M10 - M24	200 – 1000
	Amoladora de ángulo	300 – 700
	Amoladora vibración ¼ Sheet ½ Sheet ¾ Sheet	250 300 400
	Lijadora de banda	300 – 400
	Lijadora de mano Collet chucks 6 - 8 mm Ø 8 - 20 mm Ø	300 – 1000 1500 – 3000
	Grapadora	10 – 60

5.1.5 Fugas

La pérdida de aire comprimido representa un consumo de aire (fuga) en las tuberías sin trabajo que se realiza. Estas pérdidas pueden ascender a 25% de todo el FAD del compresor en circunstancias desfavorables.

Las causas son numerosas:

- Fuga de válvulas.
- Tornillo goteando y juntas de bridas.
- Fuga de cordones de soldadura o puntos de soldadura.
- Mangueras y conexiones de la manguera dañada.
- Válvulas de solenoide defectuoso.
- Atascado desagües flotador.
- Secadoras instaladas incorrectamente, filtros y centros de servicio.
- Líneas corroídas.

6 RECUPERACIÓN DE CALOR

El aumento de los costos de energía y el creciente ahorro sobre su cuidado, llevan a muchos usuarios pensar que la energía calorífica del compresor no se debe desperdiciar sin antes utilizarla. Dicho interés por acercarse a los fabricantes de compresores que han desarrollado un sistema de recuperación de calor de alto rendimiento. Desde entonces el calor generado por los compresores se ha utilizado, en sistemas de calefacción o agua caliente.

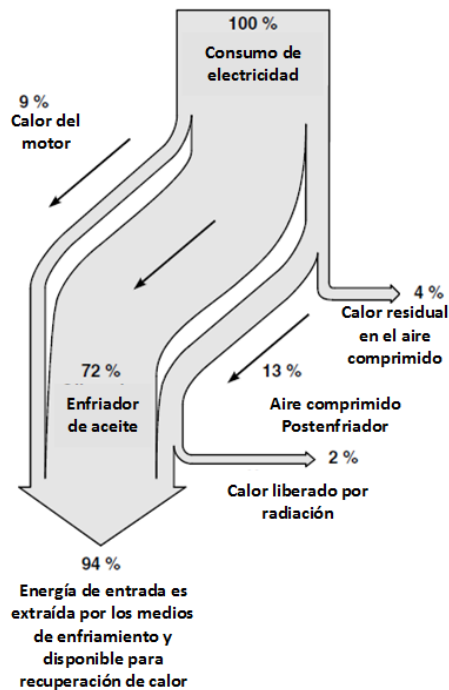
6.1 Balance de calor de una estación de compresión

Para ser capaz de visualizar las posibilidades de recuperar el calor que se genera en los compresores, se debe de tener en cuenta sobre la base de la primera ley de la termodinámica, todo el consumo de energía eléctrica de un compresor se convierte en calor. Para poder hacer que este calor producido sea útil, es importante conocer en donde se produce y en qué proporción de ella se puede recuperar para un uso posterior.

El calor siempre se descarga con la ayuda de un líquido refrigerante. Este refrigerante contiene un 94% de la energía eléctrica que entra en el compresor en forma de calor. Un 4% aprox. permanece en el aire comprimido en forma de calor residual y aprox. 2% se pierde en la atmosfera por radiación.

Al elaborar el balance general, las suposiciones no deben basarse únicamente en la salida del motor que necesita el compresor de aire. El propio motor eléctrico convierte la energía en calor. También hay que tener en cuenta la tasa de eficiencia del motor, que de acuerdo a la calificación de la unidad se encuentra entre 80% y 96%. De nuevo, esto aumenta la cantidad de calor emitido.

Figura 26 Distribución de calor en un compresor tipo tornillo enfriado por aceite.



6.2 Calefacción de la habitación

El uso más frecuente para utilizar el calor recuperado del compresor es la calefacción de habitaciones.

Con el método más simple para calefacción de algún espacio, el compresor está instalado en la sala a calentar. Esto significa que el compresor se instala directamente en el taller o almacén, por lo general cerca de los lugares de trabajo.

En este caso, los únicos ductos requeridos son aquellos para descargar aire caliente a la luz durante el verano. El aire caliente no se requiere ser transportado largas distancias.

Por supuesto, debe haber una refrigeración adecuada para el compresor. El aislamiento acústico normalmente se requiere por normas de seguridad.

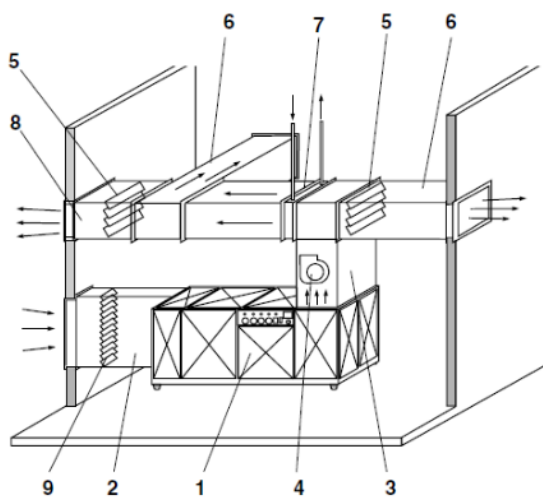
6.2.1 Calefacción de un espacio a través de ductos.

Para utilizar el calor generado por una estación central compresor el flujo caliente de aire de refrigeración debe ser llevado a través de ductos a los espacios a calentar. Esto sólo se recomienda cuando se utilizan compresores grandes, ya los más pequeños no proporcionan suficiente calor utilizable.

El flujo de aire frío pasa sobre el motor del compresor y la unidad. El aire de refrigeración absorbe el calor emitido y se introduce en un ducto de salida con la ayuda de un ventilador. En este proceso el aire de refrigeración normalmente se calienta a + 50 ° / + 60 ° C.

Uno de los usos del calor del compresor para calefacción requiere un compresor silenciado con aire de refrigeración por conductos. BOGE compresores de tornillo están silenciados y equipados con un ventilador interno. Por esta razón se pueden conectar a un sistema de ductos sin dificultad. Compresores no silenciados (por ejemplo, la mayoría de los compresores de pistón) no se pueden actualizar más tarde para la utilización de calor emitido, aunque exista una campana de aislamiento de sonido ajustada está equipado.

Figura 27 Diagrama del sistema de ductos



1. Compresor aislado acústicamente
2. Entrada del ducto
3. Salida del ducto
4. Ventilador adicional de extracción
5. Compuertas automáticas (controladas por termostato)
6. Ducto de aire de descarga (calefacción del espacio)
7. Intercambiador de calor
8. Ducto de aire de descarga (para operación en verano)
9. Compuerta de aire de entrada

6.2.2 Operación de la calefacción de un espacio.

Los ductos aislados conducen el aire caliente de un compresor o compresores a bajas temperaturas exteriores en el edificio. Esto calienta las respectivas habitaciones. Si la temperatura exterior es elevada, un ducto dirige el aire caliente al exterior del edificio.

El flujo de aire es dirigido por compuertas de aire. Estas compuertas y los ventiladores deben ser controlados por un termostato de ambiente ajustable que controla la temperatura interior del espacio.

Las medidas de seguridad contra incendios se prescriben para evitar la propagación del fuego a través de los ductos de ventilación. DIN 4102, Parte 6 requiere que las compuertas de seguridad contra incendios sean de cierre automático.

Esto es posible para intercambiadores de calor en los ductos. Con la ayuda de estos intercambiadores de calor, el agua puede ser calentada a una temperatura of aprox. + 40 ° C. Esta agua caliente puede ayudar a un sistema de calefacción central o ser utilizada como agua caliente.

6.2.3 Economía de la calefacción de un espacio.

Los costos de instalación de calefacción de la habitación pueden ser muy altos en proporción a los costos de energía ahorrada. Antes de instalar un sistema caro, se debe comprobar que es el suficiente calor que se genera para justificar el gasto de un sistema de ductos. Debe tenerse en cuenta que el flujo de aire caliente, inevitablemente, se enfría si tiene que viajar largas distancias a través de un sistema de ductos. La inversión debe ser en la proporción correcta de los costos de calefacción ahorrados.

El ahorro de costos aumenta cuanto más se utiliza el compresor. Cuanto más funcione el, la calefacción es más eficiente en una habitación.

6.3 Intercambiador de calor DUOTHERM

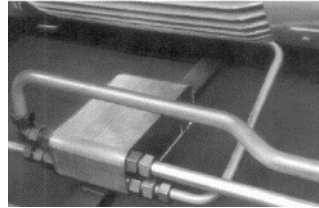
Para los compresores de tornillo con inyección de aceite de refrigeración existen sistemas especiales de recuperación de calor para calentar el agua de servicios públicos o el calentamiento de agua. Un intercambiador de calor se instala en la vía de flujo principal de aceite caliente en el compresor. Calentando el agua por el aceite caliente del compresor.

Los intercambiadores de calor Duotherm funcionan independientemente del tipo de refrigeración del compresor, porque el intercambiador de calor se instala como un pre-enfriador.

6.3.1 Sistema Duotherm BPT

El Sistema BPT Duotherm se utiliza para calentar el agua. El corazón de este sistema es un intercambiador de calor de placas que consiste en un número de perfiles, placas de acero inoxidable. Las placas apiladas forman un sistema aislado mutuamente dos canales. Un proceso especial de soldadura conecta estas placas en capas juntas. El intercambiador de calor resultante funciona de manera muy eficaz y fiable.

Figura 28 Sistema BOGE-Duotherm BPT



6.3.1.1 Principios de operación

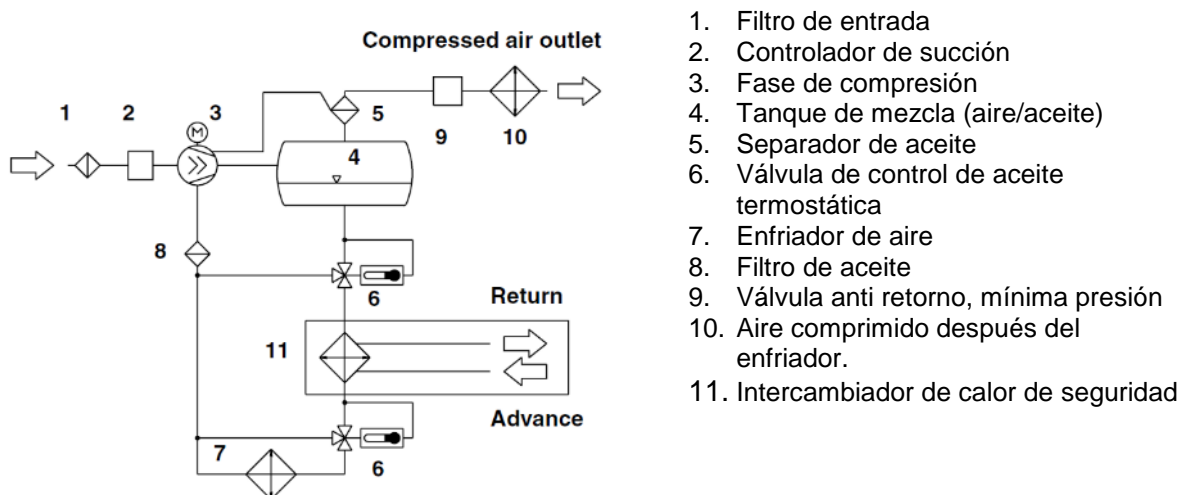
Cuando las válvulas de corte en la entrada y la salida de agua están cerradas se forma al mismo tiempo un circuito cerrado. Cuando el agua se calienta, se expande y la presión aumenta. Un tanque de expansión y una válvula de seguridad deben instalarse con el fin de evitar daños en el intercambiador de calor de placas.

Si el agua está muy sucia, se debe de instalar una malla con un arreglo de 0.6mm en la línea.

El intercambiador de calor debe de estar equipado para mantenimiento con conexiones.

Este intercambiador de calor está normalmente integrado en un gabinete del compresor. Se puede configurar por separado o montado en el lugar más tarde.

Figura 29 Sistema Boge- Duotherm BPT



6.3.3 Sistema Duotherm BSW

El sistema Duotherm BSW es usado para calentar agua potable. Puesto que otras reglas se aplican en el área sanitaria, esto es un intercambiador de calor de seguridad. Dos circuitos independientes se mantienen separados por una separación.

El sistema BSW es un intercambiador de calor de tubos en los que se inserta un tubo a otro sin hacer contacto. El área de seguridad en este doble tubo se llena con un líquido de separación no tóxico. El líquido transmite el calor y en el caso de daños evita que el agua se mezcle con el aceite. El agua potable no puede, por tanto, estar contaminada.

Un interruptor de presión se acciona inmediatamente en caso de rotura de la tubería.

Figura 30 Sistema Boge-Duotherm BSW



6.3.3.1 Principios de operación

El aceite procedente del circuito compresor calienta a aprox. + 90 ° C fluye a través de un haz de tubos. El líquido que separa transmite el calor al agua potable. El agua que viene en el flujo inverso a través del segundo tubo puede ser calentada a aprox. 55 ° C. La cantidad de agua calentada depende de la diferencia de temperatura. El agua calentada posteriormente se dirige a un recipiente adecuado, desde donde puede ser transportado al circuito de agua caliente.

Hay una válvula de control termostático de aceite antes y después del intercambiador de calor. Dependiendo de la temperatura del aceite el flujo se envía ya sea a través del enfriador de aceite y también al intercambiador de calor o a través de un bypass.

Características:

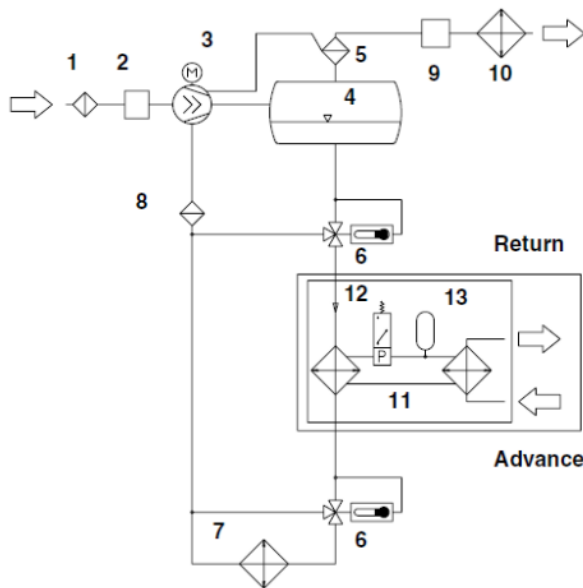
El monitor de presión se debe fijar un valor que sea al menos 20% por debajo de la presión mínima de los medios utilizados.

Condiciones de uso:

Presión mínima de agua	0.5 bar
Presión máxima de agua	16 bar
Presión máxima en el aceite	16 bar
Presión máxima del líquido aislante	10 bar
Máxima temperatura del agua y el aceite	100°C

Debido a su tamaño, el intercambiador de calor de Seguridad BSW es integrado en el gabinete del compresor. También se puede instalar en otro sitio.

Figura 31 Diagrama de flujo de un sistema DOGE-Duotherm BSW



1. Filtro de entrada
2. Controlador de succión
3. Etapa de compresión
4. Tanque de mezcla (aire/aceite)
5. Separador de aceite
6. Válvula de control de aceite termostática
7. Enfriador de aire
8. Filtro de aceite
9. Válvula anti retorno, mínima presión
10. Aire comprimido después del enfriador.
11. Intercambiador de calor de seguridad
12. Monitor de presión para apertura
13. Tanque de expansión.

6.4 Observaciones finales relativas a la recuperación de calor

Los compresores ofrecen enormes posibilidades para el ahorro de energía y de costos a través de la emisión de calor. Sin embargo, no es aconsejable tratar de forzar el calor de un pequeño compresor. Normalmente sólo vale la pena el gasto con un gran compresor tipo tornillo y compresores de pistón y sistemas combinados. La energía utilizable aumenta con la capacidad del compresor.

Los costos de inversión para un sistema de recuperación de calor dependen mucho de las condiciones locales. Deben tenerse en cuenta debido a que son una gran influencia en el tiempo de amortización del sistema.

Una decisión de principio se debe hacer si desea utilizar el calor emitido para calefacción o para el calentamiento de agua. Recuerda que la calefacción rara vez se utiliza en verano.

El uso del compresor es también un factor importante. Cuanto más tiempo se opera, más calor que está disponible de forma continua.

Antes de que un sistema de este tipo se instale, siempre se debe hacer un análisis de las necesidades de la demanda de calor. Este análisis puede entonces ser comparado con el tiempo medio de funcionamiento del compresor.

Esta comparación permite visualizar el verdadero valor del sistema de recuperación de calor. También mostrará si la recuperación puede cubrir la demanda de calefacción o si es necesario un segundo sistema de calefacción.

7 SONIDO

7.1 La naturaleza del sonido

Las ondas de sonido son vibraciones mecánicas de un medio elástico. A partir de una fuente de sonido, un cuerpo vibrante, se propagan en cuerpos sólidos, líquidos y gases en la forma de fluctuaciones de presión (ondas de presión). La acústica es quien se encarga del estudio del sonido.

Cuerpo vibrante de todas las condiciones agregadas puede transmitir las ondas sonoras. Estos son conocidos como fuentes de sonido. Estos pueden ser cadenas, varillas, placas, columnas de aire, membranas, maquinas etc.

Si las vibraciones se emiten desde el aire se les conoce como ruido aéreo.

Los cuerpos vibrantes, gases y líquidos pueden transmitir las vibraciones a objetos sólidos. En este caso se les conoce como sonido Borne estructura.

Existen las siguientes conexiones entre las vibraciones del sonido en el aire procedentes de las vibraciones de una fuente de sonido y la percepción humana del sonido:

Amplitud de la vibración

La amplitud es la desviación periódica de presión que se produce en una onda de sonido.

Esta corresponde a la impresión de sonoridad percibida por los seres humanos.

Frecuencia de vibración

La frecuencia es el número de fluctuaciones de presión durante una unidad de tiempo. Se mide normalmente en Hz (vibraciones por segundo).

Esto corresponde a la impresión de tono percibido por los seres humanos.

Forma de vibraciones

Se hace una distinción entre las diferentes formas de vibración que causan las diferentes impresiones de sonido:

- **Tono.**

Un tono (tono puro) es una vibración del senoidal.

- **Sonido sinusoidal.**

Esta es la superposición de varios tonos. Varias vibraciones sinusoidales superponen y forman una vibración no sinusoidal. El tono con la frecuencia más baja define la percepción global del sonido. Los otros tonos (tonos altos) dan la impresión de color del sonido.

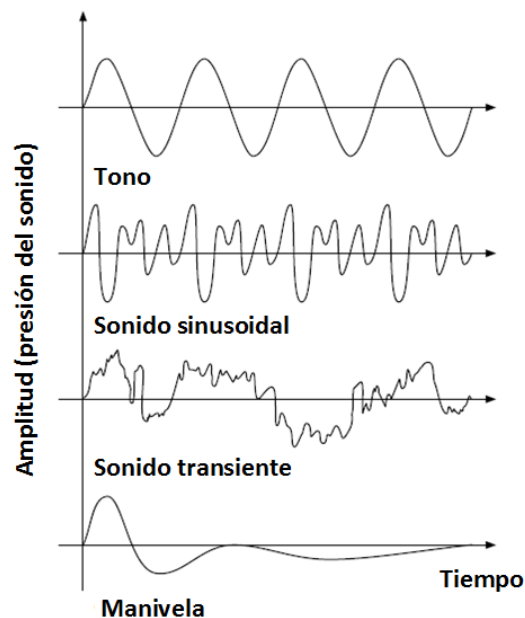
- **Ruido Transitorio.**

Ruido transitorio es una vibración irregular. Es una mezcla de muchas frecuencias o diferentes magnitudes.

- **El crack.**

Una grieta es una sola, breve y aguda informe.

Figura 32 Impresiones de sonido



7.2 Terminología importante en acústica

7.2.1 Presión de sonido

La presión de sonido \tilde{P} es la desviación de la presión periódica (sobre y bajo presión y de presión alterna) que se produce en una onda de sonido. Se mide en **Pa** (10^{-5} bar).

En un medio gaseoso la presión sonora está superpuesta sobre la presión del gas **p** existente. Presión sonora depende en gran medida de varios factores, por ejemplo, la salida de sonido de la fuente, las circunstancias espaciales etc.

Presión de sonido se mueve entre aprox. 2×10^{-4} **Pa** con el tic-tac de un reloj y aprox. 65 Pa con el inicio de una aeronave en la proximidad directa.

7.2.1.1 Niveles de sonido

Para ser capaz de manejar tamaños acústicos mejor, el valor se establece en proporción con un tamaño de referencia puesto en un logaritmo. Los niveles como logaritmo de un tamaño proporcional son adimensionales. Se añade la denominación dB (Decibel).

El nivel de presión sonora se establece en proporción a la presión de referencia $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ **Pa** y \tilde{P} en un logaritmo. Lo siguiente se aplica para el nivel de presión sonora:

Ecuación 8 Nivel de presión sonora

$$L_p = 20 \lg \frac{\tilde{P}}{P_0} \text{ dB}$$

L_p	Nivel de presión de sonido	[dB]
\tilde{P}	Presión de sonido	[Pa]
P_0	Referencia de la presión de sonido	[2×10^{-5} Pa]

Los otros tamaños en la acústica son tratados de manera similar. La Acústica utiliza casi sólo los niveles para indicar tamaños.

7.2.1.2 Intensidad del sonido

La intensidad del sonido indica la energía del sonido irradiado por una fuente de sonido por segundo. Es un tamaño específico del equipo (tamaño de emisión) y puede ser influenciada por medidas de aislamiento acústico entre otros métodos.

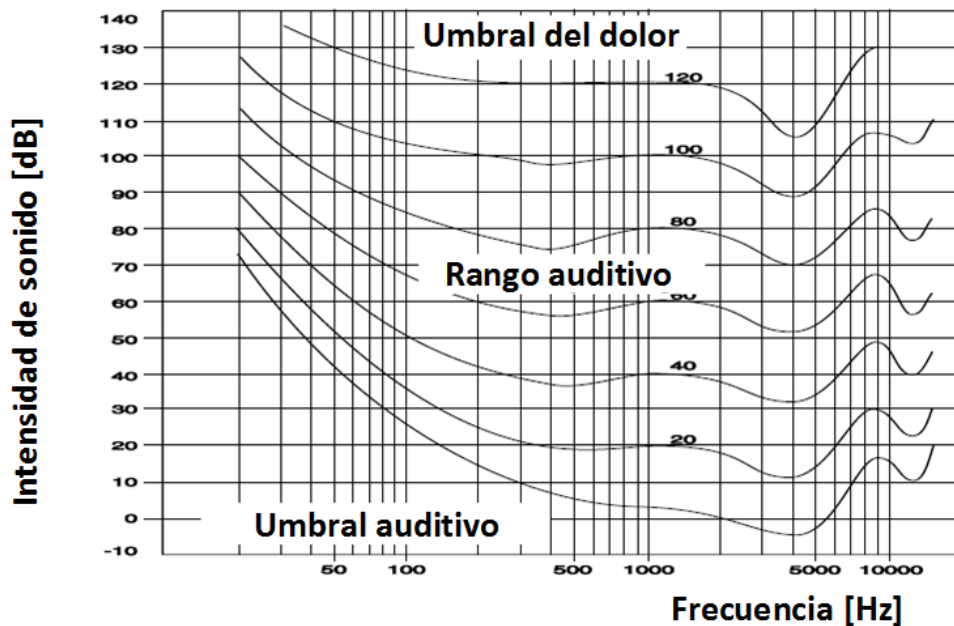
Utilizando la intensidad del sonido de una máquina, es posible calcular el nivel de presión sonora de un lugar determinado, teniendo en cuenta la distancia, las condiciones estructurales y otras fuentes de sonido cerca de la intensidad del sonido. A menudo no hay necesidad de llevar a cabo una amplia medida.

7.3 Percepción humana del sonido

El oído humano normalmente sólo se puede oír frecuencias 16 a 20000 Hz. Las frecuencias más altas son descritos como los supersónicos, inferiores como infrasonidos. La presión del sonido perceptible es entre 10^{-5} Pa y 100 Pa, con lo cual una presión de sonido de 100 Pa casi siempre conduce a la pérdida inmediata de la audición en seres humanos.

El sentido humano del oído no percibe las diversas presiones de sonido y frecuencias con la misma intensidad. La gama de audibilidad ofrece un resumen de la presión del sonido y la frecuencia oscila perceptible para los seres humanos. El límite inferior de la curva muestra el umbral de audibilidad y la parte superior curva el umbral del dolor. La mayor gama de presión de sonido perceptible para el oído humano está en torno a 1000 Hz.

Figura 33 Rango de audición humana



7.3.1 Nivel de intensidad del sonido

Presión sonora es un tamaño físico y por lo tanto se puede medir. La intensidad a la que una persona percibe de presión de sonido es de un tamaño fisiológico que depende del sentido del oído.

El nivel de sonoridad es un tamaño determinado empíricamente. La percepción de la sonoridad se ha probado en serie de experimentos con diferentes personas y un valor medio formado. El nivel de sonoridad se da en Phon.

En 1000 Hz, el nivel de intensidad de sonido coincide con el nivel de presión sonora sin evaluar. El nivel de intensidad de sonido no se puede medir con instrumentos técnicos. Esta es la razón por mediciones comparativas son muy difíciles, si no imposible.

7.3.1.1 Nivel de sonido evaluado dB (A)

Tamaños acústicos deben adaptarse a la gama de percepción del oído humano de una manera que también hace sentido técnico. Dependiendo de la frecuencia, el nivel de presión de sonido real se ajusta con ciertos valores a la sensibilidad del oído. Hay curvas de evaluación internacionales válidas para estos valores de ajuste.

A continuación se dan algunas áreas para aplicación de diferentes curvas de evaluación

- A Curva de evaluación para $L_N=30-60$ phon
- B Curva de evaluación para $L_N=60-90$ phon
- C Curva de evaluación para gama audibilidad lineal
- D Curva de evaluación para el ruido de aviones

Un nivel de sonido evaluado está indicado por tener la letra de la curva de la evaluación, por ejemplo, dB (A) sufijo.

La evaluación de la curva A es la que se utiliza principalmente en la medición del ruido de los compresores y otras máquinas. La medición de sonidos normalizados en la norma DIN 45635 utiliza niveles de presión sonora A.

7.3.1.2 Comparación de sonoridad

El siguiente diagrama muestra el rango de audición de una persona promedio, que se encuentra entre el umbral de audibilidad y el umbral del dolor, junto con varios ejemplos de diferente intensidad.

7.4 Comportamiento del sonido

El comportamiento difusión y general del sonido depende de varios factores. También debe tenerse en cuenta que la salida de sonido de una máquina (la fuente de sonido) permanece constante.

7.4.1 Distancia desde la fuente del sonido

La presión sonora generada a partir de la fuente siempre disminuye al aumentar la distancia. La salida de sonido constante de una fuente difunde sobre un área mayor (dispersión) al aumentar la distancia. La forma de la onda de sonido juega un papel importante en esto. La maquinaria y los compresores casi siempre irradian la energía del sonido en la forma de una semiesfera porque están normalmente sobre una base firme.

El nivel de presión de sonido a disminuye con referencia al valor de distancia 1 m, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8 Referencia a la presión de sonido

Distancia de la fuente de sonido [m]	1	2	5	10	25	50	100
Reducción del nivel de la presión de sonido [dB A]	0	5	12	16	23	28	32

Estos valores se refieren a partir de una difusión sin restricciones de sonido en un área abierta. Una cierta cantidad de reflexión desde el suelo normal, reverberante se tiene en cuenta.

Ejemplo

Un BOGE ultra-silenciada tornillo compresor S 21 está instalado en una gran sala. Genera según DIN 45635 un nivel de presión sonora de 69 dB (A). A una distancia de 10 m la presión acústica generada por el compresor es solamente alrededor de 53 dB (A).

7.4.2 Reflexión y absorción

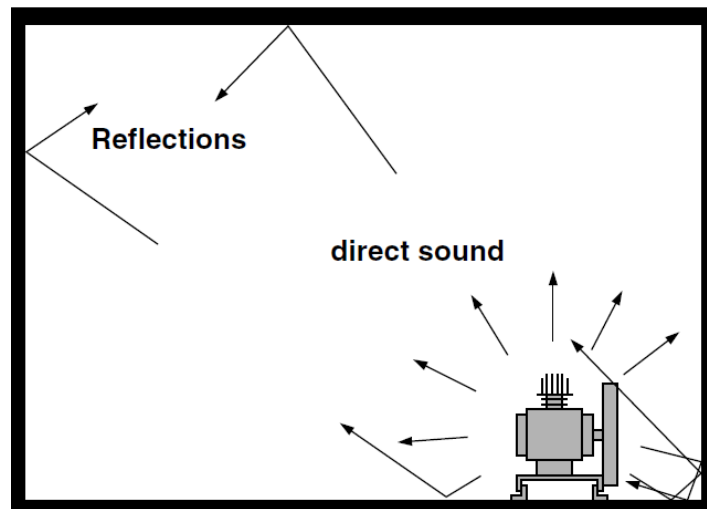
Una parte del sonido es reflejada por las paredes y otros objetos. En las habitaciones, la reflexión provoca un campo difuso de las ondas sonoras no dirigido. El nivel general de presión sonora en la sala se incrementa por el sonido reflejado. Este sonido reflejado se conoce como reverberación.

Materiales reverberantes con superficies lisas, tales como paredes de ladrillo, reflejan una gran cantidad de sonido ocurrente. La forma de la superficie influye en gran medida de las

reflexiones. Si una habitación se rellena con pirámides aislantes organizadas especialmente para el resultado es una sala acústicamente muerta sin reflexión. Habitaciones de este tipo se utilizan para medir la presión de sonido y similares con exactitud científica.

El sonido no reflejado es absorbido por las paredes u objetos. El material conduce el sonido absorbido más y amortigua ella. Se transmite generalmente de nuevo al aire a otro punto. Los materiales con un módulo de alta elasticidad, tales como el acero, conducta suenan muy bien. El efecto de amortiguación es generalmente baja.

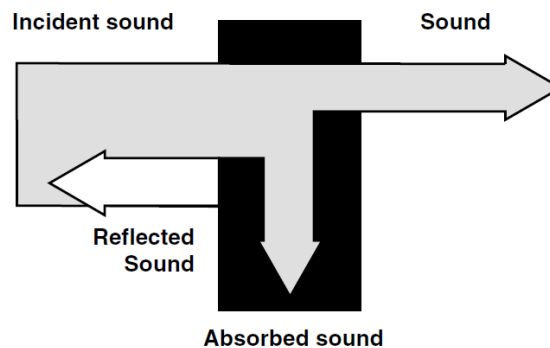
Figura 35 Diseminación del sonido en un espacio cerrado



7.4.3 Amortiguación de sonido

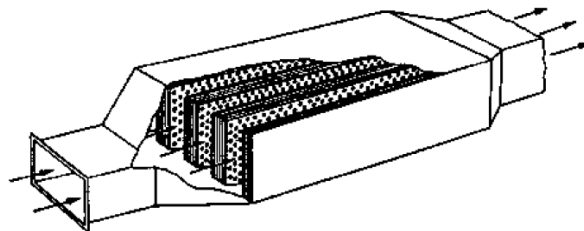
La amortiguación es la conversión de la energía del sonido en calor generado por la fricción de las partículas de uno contra el otro. El sonido se absorbe en este proceso. Atenuación del sonido en el aire se consigue mediante materiales porosos o fibrosos de absorción con un módulo de elasticidad bajo y una masa área grande (kg / m^2). La medida en la que el sonido se amortigua por materiales apropiados también depende del espectro de frecuencias del sonido. Algunas frecuencias se ven afectados más y otros menos.

Figura 36 Aislamiento del sonido (paredes)



7.4.4 Diseminación del sonido en tuberías y ductos

Figura 37 Silenciador con elementos rectos



Leyes especiales para la difusión del sonido en tuberías y conductos. Un medio que fluye y los reflejos en un conducto estrecho ayudan a la difusión del sonido. Se deben tomar medidas contra la difusión irrestricta de sonido en los conductos, particularmente cuando la salida de aire caliente de un compresor se utiliza para la calefacción habitación.

Viniendo de un compresor silenciado, una onda de sonido se dirige hacia el conducto de salida de aire. El sonido, que aquí no se ve afectada por el silenciador, continúa a través del sistema de conductos. Procede sin obstáculos a través de las aberturas de ventilación y en las habitaciones con calefacción.

Hay varias medidas que se pueden tomar para reducir la continuación del sonido en los conductos o tuberías:

- Aislamiento lineal.

Los conductos están revestidos con materiales altamente absorbentes. Esto reduce la energía del sonido y el nivel de presión sonora en el conducto.

- Aislamiento de absorción.

Una parte del conducto está vagamente llena con material absorbente de sonido (por ejemplo, lana de roca). Este absorbe una gran parte de la energía del sonido, similar a las paredes. El gran inconveniente de esta forma de aislamiento radica en su alta resistencia al flujo.

Aislamiento de este tipo no se recomienda en sistemas de conductos sin un gran ventilador de escape.

7.4.5 Nivel de presión sonora de muchas fuentes de sonido

Si hay varias fuentes de sonido en una habitación, el nivel de presión sonora se levantará. La energía más sonido emitido, mayor será la presión de sonido. La intensidad percibida del sonido aumenta. Las correlaciones no son lineales. Ellos dependen mucho de la estructura de la habitación, los niveles de presión sonora de las fuentes individuales y su espectro de frecuencias. Por lo tanto, cuando se mira en las correlaciones, sólo los dos casos más sencillos se dan aquí.

Las cifras que se dan aquí deben ser vistas como únicos valores de referencia. Ellos pueden desviarse bruscamente en casos individuales debido a que muchos factores que influyen en que no se tienen en cuenta.

7.4.5.1 Varias fuentes de sonido con el mismo nivel

Cuando hay dos o más fuentes de sonido con el mismo nivel de presión sonora en una habitación grande, la correlación es relativamente simple. La siguiente tabla muestra el aumento del nivel general de presión sonora sin tomar posible reflexión o ruido transitorio en cuenta:

Tabla 9 Incremento del nivel de presión con relación a fuentes de sonido

Numero de fuentes	2	3	4	5	10	15	20
Incremento del nivel de presión [dB A)]	3	5	6	7	10	12	13

Para obtener el nivel general de presión sonora del aumento de la presión del sonido se debe agregar a los niveles de presión sonora de las fuentes individuales.

Ejemplo

Hay tres ultra-silenciada BOGE compresores de tornillo S 21 en una gran sala. Cada genera de acuerdo con DIN 45635 de presión de sonido de 69 dB (A). Por tanto, el nivel general de presión sonora es a los 74 dB (A) [69 + 5].

7.4.5.3 Dos fuentes de sonido con diferentes niveles

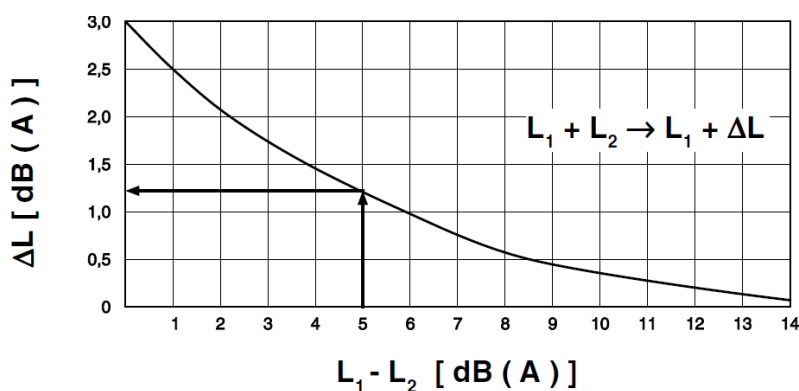
La presión sonora total de dos presiones de sonido diferentes ($L_1 + L_2$) se puede determinar con la ayuda de un diagrama. Cuando hay varias fuentes de sonido con diferentes niveles de las correlaciones son muy complicadas.

El diagrama muestra por cuántos decibelios (ΔL) el mayor de los dos niveles de sonido L_1 se levante en la dependencia de la diferencia entre los dos niveles ($L_1 + L_2$).

Ejemplo

Un compresor con una presión de sonido de acuerdo con DIN 45 635 de 69 dB (A) y un compresor con una presión de sonido de 74 dB (A) se instalan en la misma habitación. La presión de sonido total en este caso es de aprox. 75,3 dB (A). [$74-69 = 5 \rightarrow 74 + 1,3 = 75,3$]

Figura 38 Sonido reforzado por dos fuentes con diferentes niveles



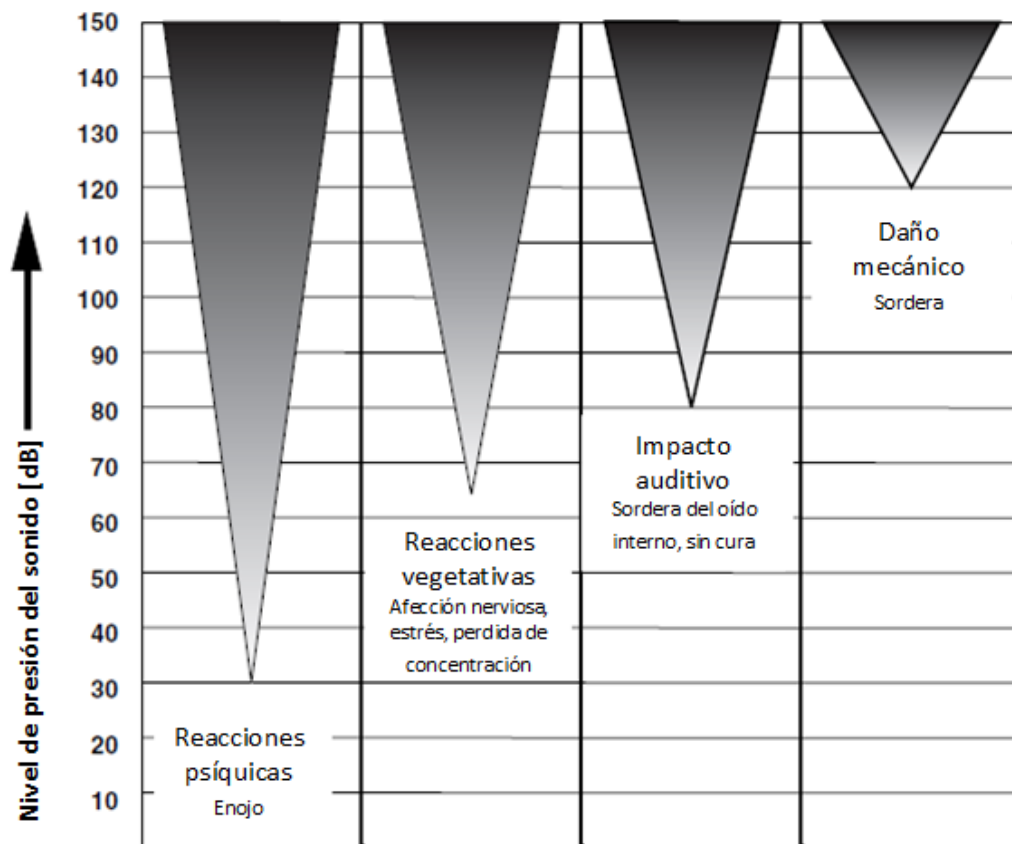
7.5 Los efectos del ruido

Una forma de sonido es ruido. Esto es indeseable, sonido molesto o doloroso. El ruido tiene varios efectos adversos en función de su presión de sonido:

- Concentración perturbada
- Presión sonora de aprox. 70 dB (A) perturba la comunicación de voz.
- Presión sonora de 85 dB (A) por lo general conduce a una reducción temporal de la audición después de un turno de 8 horas. Si esta tensión acústica continúa durante varios años puede causar daño permanente a la audición.

- Presión de sonido de 110 dB (A) conduce a una reducción de la audición en un tiempo muy corto. Si esta tensión continúe por varias horas, es muy probable que resulte en un daño permanente en la audición.
- Presión de sonido de 135 dB (A) y por encima de causa sordera inmediata en la mayoría de los casos.

Figura 39 Afecciones del ruido



7.6 Medición del ruido

Cuando se mide el ruido en los compresores y maquinaria similar, el principal método utilizado es el método de superficie envolvente de la norma DIN 45635 u otras normas como Cagi-Pneurop o PN 8 NTC 2,3. Estas normas definen las condiciones para medir el ruido emitido por los compresores y maquinaria para el aire (salida de ruido) en el exterior de acuerdo con métodos estándar, por lo tanto haciendo que los resultados comparables.

El ruido se mide principalmente en compresores y maquinaria para averiguar si se están cumpliendo ciertos requisitos. Los resultados determinados son útiles para:

- Comparación de la maquinaria similar.
- Comparación de diferentes máquinas.
- Estimación de los niveles de sonido a distancia.
- Emisiones de ruido Comprobación con respecto a las leyes de seguridad.
- Las medidas de protección contra el ruido de Planificación.

7.7 Silenciadores en compresores

Compresores a veces emiten los niveles de sonido superiores a 85 dB (A) durante el funcionamiento. Esto puede ser mucho mayor si hay varios compresores silenciados en una habitación. Dado que la Ley de Seguridad en el Trabajo recomienda el uso de equipos de protección de 85 dB (A) hacia arriba y prescribe que a partir de 90 dB (A), a menudo es beneficioso para instalar compresores silenciados.

Compresores silenciados pueden ser instalados cerca de los lugares de trabajo. Esto evita el costo de las largas colas y de compresores separados, y reduce la pérdida de presión en las líneas neumáticas.

Ciertas demandas se colocan en los materiales de aislamiento acústico:

- No combustibilidad.
- Insensibilidad al polvo.
- Insensibilidad al aceite.

El material utilizado para el silenciamiento de los compresores tanto, es generalmente de algodón mineral (lana de roca o fibra de vidrio), material de espuma difícilmente inflamable, autoextinguible, que se instala en el caso de chapa de acero.

Figura 40 Silenciador BOGE para compresor tipo tornillo



8 COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO

Como se ha venido mencionando el sistema de aire comprimido está comprendido de diferentes dispositivos, de los cuales debe recolectarse la información para su posterior análisis en la oficina, el objeto de esta recolección es que se disponga de una información completa que permita realizar una propuesta de mejora coherente y ajustada a las necesidades de la instalación.

8.1 Motor

Los compresores suelen ser motores eléctricos que deben disponer de una placa de datos visible y sujeta al motor. Las placas suelen ser de acero inoxidable con las características grabadas para poder ser leída aunque se les vaya la pintura.

En cuanto a los motores monofásicos, se debe disponer de una placa de datos de poliéster o acero.

A continuación, se reflejan las principales características de una placa de motor.

Figura 41 Placa motor



- **CAT N°:** Modelo o número de catálogo
Se trata de la nomenclatura del fabricante del motor modelo o número de catálogo
- **HP o kW:** Potencia nominal en Hp o kW

Corresponde a la potencia máxima de salida en el eje del motor. Este valor no incluye las pérdidas. La unidad puede ser en HP o kW.

- **Spec**

Corresponde a la identidad (ID) del motor

- **VOLTS** : Tensión nominal en volts

Es el voltaje de funcionamiento del motor. Puede disponer de más de un valor si el motor soporta varias configuraciones en su caja de bornes.

- **AMPS o FLA**: Corriente nominal a plena carga en amperios

Corresponde a los amperios a carga plena (Full load Amperes), es decir la intensidad consumida por el motor cuando funciona a carga nominal.

- **RPM**: Revoluciones por minuto a plena carga (R.P.M)

Corresponde a las revoluciones por minuto

- **FRAME**: Frame de la carcasa

Indica el tamaño de la carcasa del motor según NEMA. Se trata de las dimensiones físicas del equipo.

- **Hz**: Frecuencia eléctrica en Hz

Indica la frecuencia de alimentación eléctrica que requiere el motor. (50 Hz o 60Hz)

- **PH**: Número de fases PH

Corresponde al tipo de fuente de alimentación requerido en su diseño. Puede ser trifásica o monofásica, hasta en ciertos casos bifásicos.

- **Serv.F**: Factor de Servicio

Corresponde a número multiplicador que indica la cantidad esperada de sobrecarga que puede disponer el motor. (1.15 corresponde a que puede manejar un 15% más de carga de su potencia nominal)

- **CODE**: Letra de clave para KVA de rotor bloqueado por kW/HP

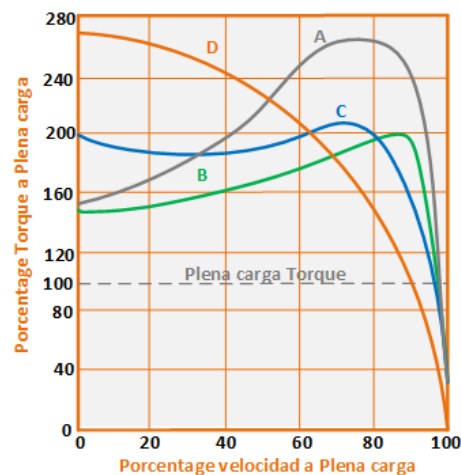
Corresponde a la letra de código que especifica la corriente con el rotor bloqueado o corriente de irrupción que demanda un motor en su arranque.

Tabla 10 Código NEMA clave KVA

Letra	Rango KVA/HP	Valor aproximado de mitad de rango	Letra	Rango KVA/HP	Valor aproximado de mitad de rango
A	0.00-3.15	1.6	L	9.0-10.0	9.5
B	3.15-3.55	3.3	M	10.0-11.2	10.6
C	3.55-4.00	3.8	N	11.2-12.5	11.8
D	4.0-4.5	4.3	P	12.5-14.0	13.2
E	4.5-5.0	4.7	R	14.0-16.0	15.0
F	5.0-5.6	5.3	S	16.0-18.0	17.0
G	5.6-6.3	5.9	T	18.0-20.0	19.0
H	6.3-7.1	6.7	U	20.0-22.4	21.2
J	7.1-8.0	7.5	V	22.4-ARRIBA	
K	8.0-9.0	8.5			

- **DES:** Letra de diseño DES
Letra de diseño según NEMA que corresponde a las características de par/velocidad que tiene el motor en el arranque y en baja carga. Generalmente, esta letra es la B (uso industrial)

Figura 42 Grafica NEMA letra de diseño DES



- **CLASS:** Clase de aislamiento CLASS
Clase de aislamiento según NEMA y en base las temperaturas de operación. Se clasifica por letras, tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Tabla 11 Clase de aislamiento

NEMA	Máxima temperatura de operación permitida	
	°C	°F
A	105	221
B	130	266
F	155	311
H	180	356

- **NEMA NOM EFF:** La eficiencia nominal a plena carga en porcentaje (2 dígitos enteros y 1 decimal)
Indica el valor del rendimiento en porcentaje de la potencia de entrada con respecto al trabajo de salida en el eje del motor.
- **P.F.:** Factor de potencia
Corresponde al porcentaje del factor de potencia (medición correspondiente al amperaje magnetizante para un motor específico)
- **RATING:** Temperatura de ambiente
Corresponde a la máxima temperatura de ambiente a la que el motor se encuentra en condiciones seguras funcionando a plena carga. El dato más común es de 40°C)
- **CC:** Tipo servicio (continuo o intermitente)
Corresponde al tipo de servicio. En la mayoría de los casos es continuo.
- **BEARINGS:** Rodamientos
Indica el número de rodamientos a nivel del eje de salida y lado opuesto. (DE: lado del eje, ODE lado opuesto al eje)
- **ENCL:** Logos de certificaciones
Indica el tipo de carcasa del motor

En caso de no contar el equipo con datos de placa se procederá a tomar los datos más importantes con los equipos de medición adecuados.

8.2 Datos de placa del grupo compresor

En un compresor debe tomarse las características proporcionadas por el fabricante, que sigue la misma nomenclatura que en el caso de los motores eléctricos, adicionando las temperaturas y presiones de operación, tipo de compresor, y tipo de control que pueda este traer integrado.

En el caso del secador debe tomarse los datos del fabricante mostrados en su placa de datos

El sistema de enfriamiento es algo que debe visualizarse y tomarse tanto la placa de datos, que nos muestra la potencia térmica del mismo y el tipo de fluido para el que está diseñado.

8.3 Características de la instalación

Esta es un parte fundamental en la toma de datos de toda instalación, es el sustento de las mejoras que puedan proponerse

En esta parte debe realizarse un diagrama o esquema de la instalación con todos sus componentes, (tubería diámetros y accesorios) así también instrumentación y tipo de control de la instalación que pueda influenciar en su operación.

8.4 Mantenimiento

Un compresor de cualquier tipo debe de contar con buen mantenimiento preventivo ya que contribuye en gran medida a que el equipo trabaje de manera óptima desarrollando el trabajo para el que fue desarrollado.

En este apartado tenemos que verificar que el compresor se encuentre operando, bien lubricado, que el sistema de transmisión se encuentre alineado y firme, que no se encuentre sucio o con polvo, que se encuentre firme en su base

Pregunte al personal operativo si existe un programa de mantenimiento y en que consta por ejemplo: si se realiza mantenimiento preventivo como limpieza, cambio de rodamientos, cambio de filtros, lubricación, etc.

Si se realiza solo mantenimiento correctivo investigue cuantas reparaciones o rebobinados lleva el motor, o si este fue cambiado recientemente.

Adicional al compresor debe verificarse el estado de las correas y que en el equipo no se encuentre polvo en la superficie del intercambiador o que este obstruyendo el filtro de admisión.

Un programa de revisión de fugas por parte de los operarios, o personal de mantenimiento

8.5 Horarios de funcionamiento

Pregunte los horarios de funcionamiento del sistema de aire comprimido, días a la semana y semanas del año en los cuales se opera, si solo se encienden ocasional mente cuanto tiempo duran encendidos al día.

8.6 Gestión operativa

Pregunte quien realiza el encendido y apagado de los compresores: el mismo personal o usuario del área de trabajo, el personal de limpieza, el personal de vigilancia, etc. Investigue si existe un sistema de control automático de encendido de los compresores.

Observe los usos y costumbres de los usuarios, en particular del personal operativo.

8.7 Mediciones en campo

Realice las siguientes mediciones en los equipos, siempre utilizando el aparato de medición apropiado así como también el equipo de seguridad.

Tabla 12 Mediciones de campo

Parámetro a medir	Equipo de medición
Voltaje	Voltímetro (la medición se realiza en paralelo a la carga)
Corriente	Amperímetro o amperímetro de gancho (en caso de disponer de equipo con puntas de medición debe colocarse en serie a la carga a medir, en caso de contar con amperímetro de gancho, debe pinzarse cada fase del conductor que alimenta la carga)
Temperatura de trabajo	Termómetro de contacto, termómetro laser o infrarrojo, termopar, (debe medirse la carcasa del motor y del compresor, procurando que la parte medida tenga una capa delgada de pintura)
Temperatura de la sala de maquinas	Termómetro de caratula, termopar.
RPM	Tacómetro (las revoluciones deben medirse en el eje del motor, evitando los reductores, para que pueda cotejarse contra el dato de placa)
Presión de trabajo	Manómetros de la instalación (verificar el presostato)
Presión de entrada	Manómetros de la instalación (verificar el presostato)
Presión de paro	Manómetros de la instalación (verificar el presostato)

9 FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Se propone utilizar el siguiente formato para recolectar los datos indicados en la sección anterior, durante el recorrido de las instalaciones y la entrevista con el personal de la PyME.

FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS AIRE COMPRIMIDO

Razón social _____

Fecha del taller de Eficiencia Energética _____

I. Tipo de servicio

Indicar para cada sistema la presión a la que opera.

Compresor 1:

Baja presión
Media presión (10 bar)

Alta presión (15 bar)
Alta presión (40 bar)

Notas _____

Compresor 2:

Baja presión
Media presión (10 bar)

Alta presión (15 bar)
Alta presión (40 bar)

Notas _____

Compresor 1:

Baja presión
Media presión (10 bar)

Alta presión (15 bar)
Alta presión (40 bar)

Notas _____

II. Generales del sistema

Compresor 1:

	SI	NO	Comentarios
Mantenimiento programado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Filtro limpio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador con intercambiador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Fugas en la línea	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Variador de frecuencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ventilación de sala adecuada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

Compresor 2:

	SI	NO	Comentarios
Mantenimiento programado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Filtro limpio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador con intercambiador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Fugas en la linea	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Variador de frecuencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ventilación de sala adecuada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

Compresor 3:

	SI	NO	Comentarios
Mantenimiento programado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Filtro limpio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Enfriador con intercambiador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Fugas en la linea	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Variador de frecuencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ventilación de sala adecuada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

III. Datos de compresor

Completar la tabla con datos de campo

		Compresor	Compresor	Compresor
		1	2	3
Nombre, área, Zona o Máquina				
Zona a la que da servicio				
Marca				
Modelo				
Tipo de compresor (scroll, tornillo, etc...)				
Número de fases				
Tipo de arrancador				
Clase de aislamiento				
Temperatura de sala de maquinas				
Presión de trabajo (bar)				
Presión de arranque (bar)				
Presión de paro (bar)				
Potencia (HP / kW)	Nominal			
	Calculada			

Voltaje (Volts)	Nominal			
	Calculada			
Corriente (Amps)	Nominal			
	Calculada			
Factor de potencia (%)	Nominal			
	Calculada			
Eficiencia (%)	Nominal			
	Calculada			
Temperatura de trabajo	Nominal			
	Calculada			
Revoluciones por minuto (R.P.M)	Nominal			
	Calculada			

IV. Auxiliares

Tipo de secador (absorción, sorción...) _____

Dren de condensados (manual, automatico...) _____

Recuperación de calor:

Existe necesidades de agua caliente? SI NO

En caso de si, ¿a que temperatura? _____

Servicio

Tipo de equipo	Presión (bar)	Cantidad	Horario	Días a la semana
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

10 MEJORAS ENERGÉTICAS

El aire comprimido es un medio energético relativamente caro, por lo tanto el objetivo de este capítulo es reducir estos costos en todos los puntos posibles, implementando algunas medidas de ahorro de eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido.

10.1 Regulación de los compresores

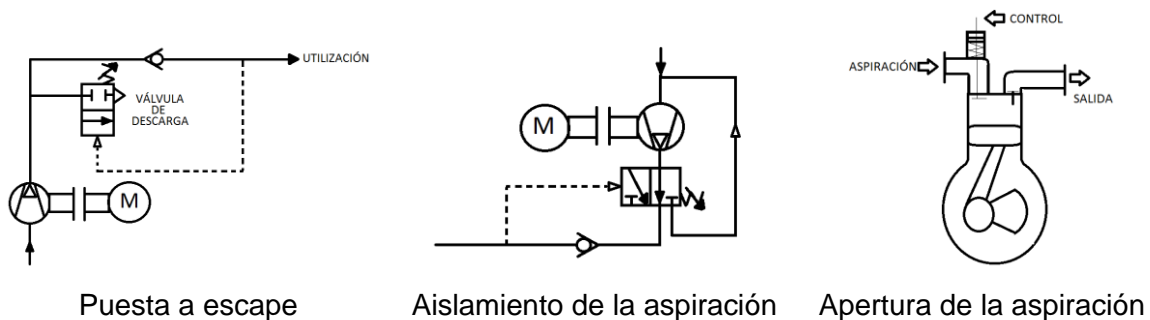
Debido a que el consumo de aire en una instalación neumática no es constante se debe optimizar el consumo de la energía primaria, haciéndose necesario que el funcionamiento del compresor pueda ser regulado.

Existen distintos tipos de regulación, su utilización dependerá del sistema motriz del compresor, su utilización, pérdida de presión admisible etc.

Las regulaciones más comunes son:

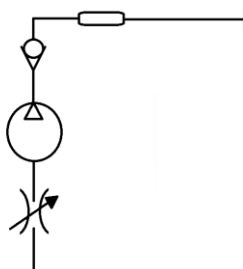
- Funcionamiento en vacío: son empleados en compresores de embolo, alcanzando el nivel de presión requerido para la aplicación, lleva este nombre ya que el elemento motriz del compresor trabaja durante periodos de tiempo en “vacío”.

Figura 43 Funcionamiento en vacío



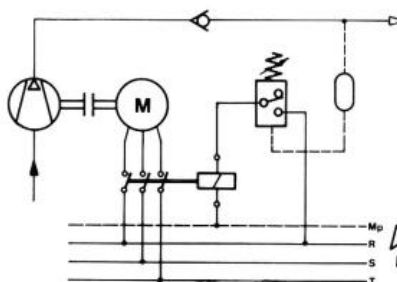
- Funcionamiento a carga parcial: es utilizado en compresores centrífugos y rotativos, y se realiza regulando la velocidad de giro del motor y por regulación de la aspiración.

Figura 44 Funcionamiento a carga parcial



- Funcionamiento intermitente: es el método más utilizado en instalaciones industriales y se logra al controlar la puesta en marcha y el paro del motor que acciona el compresor mediante la instalación de dispositivos de control de presión (presostatos).

Figura 45 Funcionamiento intermitente



Para llevar a cabo la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido mediante la regulación tendremos que:

- a. Instalar un sistema de control global para optimiza la producción de aire comprimido, esto permitirá establecer funcionamientos acordes a las necesidades instantáneas de aire. Un grupo de compresores con funcionamiento en cascada y conectado a un sistema de control, se ajustará en buena medida a la demanda, arrancando los equipos en función de las demandas.
- b. Instalar variadores de frecuencia en los compresores, es un control muy efectivo, ya que la velocidad del compresor es regulada en función de la presión de descarga y por lo tanto de la demanda de aire comprimido. Este tipo de acción puede lograr ahorros del **40%**.

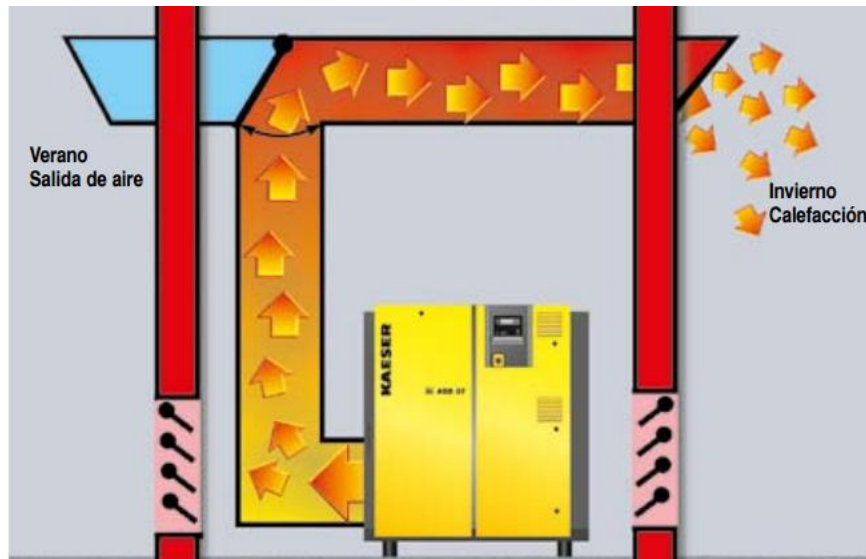
10.2 Recuperación del calor

La recuperación del calor es una opción atractiva y ecológica para mejorar el rendimiento energético de un sistema de aire comprimido. Gran parte de la potencia mecánica del compresor es transformada en calor. Este calor puede ser recuperado para precalentar agua o aire.

- Aire

Es la opción más sencilla y consiste en aprovechar directamente el sistema de refrigeración del compresor y es factible en cualquier sistema de enfriamiento del compresor (enfriados por aire o por agua). Este aire caliente puede utilizarse para diversos fines, como por ejemplo, precalentar el aire de combustión de algún boiler o caldera, para calefacción, procesos de secado, etc.

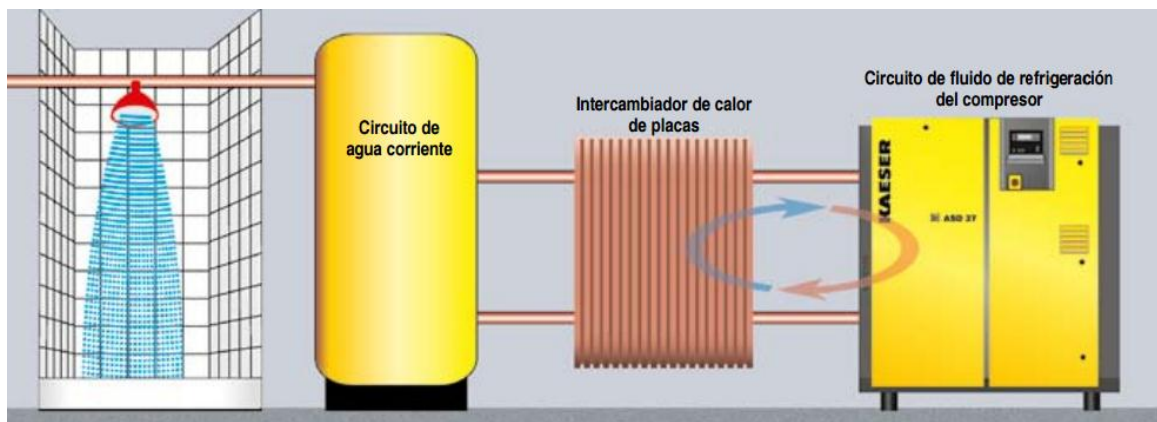
Figura 46 Recuperación de calor para precalentamiento de aire



- Agua.

Se instala un intercambiador de calor en el circuito de enfriamiento del compresor ya sean enfriados por aire o por agua, esto con el fin de producir agua caliente a 90°C para ser aprovechada en agua caliente sanitaria, calefacción, procesos de limpieza en producción, etc.

Figura 47 Recuperación de calor para precalentamiento de agua



El gasto que supone recuperar el calor es relativamente pequeño, y dependerá de las condiciones y lugar donde se instale, la recuperación de calor que se elija y su campo de aplicación.

10.3 Ventilación del local

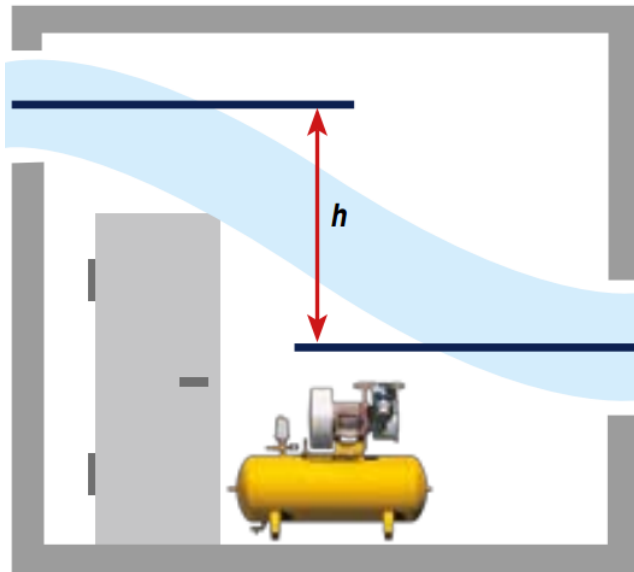
Los compresores toman el aire de los locales técnicos donde se encuentran instalados. Es muy importante elegir el sistema de ventilación apropiado para sala de compresores (en caso de contar con una) o para el compresor, ya que el aire del local es introducido al compresor donde es comprimido, calentado por el efecto de compresión, y cargado con partículas de aceite.

Existen dos tipos de ventilación los cuales son:

- Natural:

Donde el aire es absorbido y calentado por el compresor, después por diferencia de densidades el aire caliente sube y a través de una ventana o una rejilla de ventilación ubicada en la parte superior del local es expulsado, ayudado por la sobrepresión. Esta ventilación solo es recomendada en compresores de potencias inferiores a 7.5 H.P., ya que la irradiación solar o la incidencia del viento sobre la abertura de salida del aire pueden llevar a un mal funcionamiento de la refrigeración.

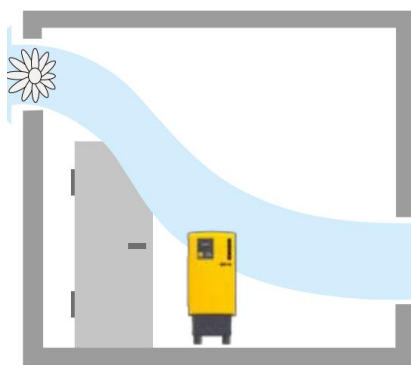
Figura 48 Regla de ventilación natural



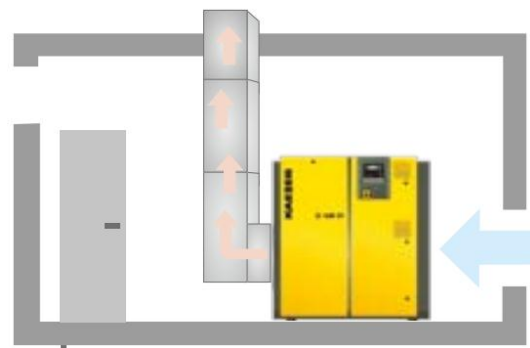
- Artificial:

Este tipo de ventilación es el más utilizado y se basa en crear una corriente de refrigeración y dirigirla artificialmente, se deberá tener cuidado en sitios donde las condiciones exteriores sean extremas ya que la temperatura de enfriamiento no debe ser menor de +3°C puesto que perjudican al funcionamiento de los compresores, la evacuación y el tratamiento de los condensados. Existen distintos tipos de ventilación artificial, seleccionar el adecuado dependerá de la potencia del compresor, a continuación mostramos los más comunes.

Figura 49 Regla de ventilación artificial



Para unidades de 7.5 a 15 H.P.



Para unidades mayores de 15 H.P.

El ubicar correctamente la toma de aire exterior en una fachada norte a la sombra, ofrece unas mejores condiciones logrando en ciertos casos una disminución de 10°C frente a la temperatura interior del local técnico. Esa disminución de temperatura de 10°C, permite ahorrar entorno al **3.5%** de electricidad.

10.4 Tratamiento adecuado del aire

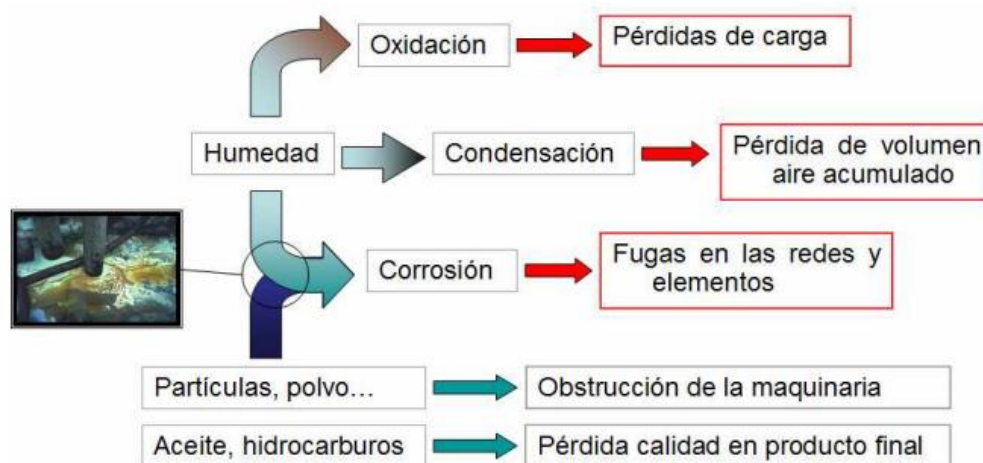
Todos los compresores funcionan aspirando aire, con el aspiran impurezas que son comprimidas y que de no llevar un tratamiento correspondiente provocarían daños importantes a la red de aire comprimido.

La base para todo tratamiento del aire es el secado del aire comprimido, los refrigeradores regenerativos son los adecuados para secar el aire comprimido en un 80% de los casos consumiendo solamente un 3% de la energía que necesita un compresor para producir el aire comprimido, en el 20% de los casos restantes se recomiendan secadores de absorción ya que son casos en los cuales se requiere aire comprimido extraordinariamente seco y tienen como desventaja el consumo 10-25% de la energía que necesita un compresor para producir el aire comprimido.

Parte importante también es el filtrado, ya que elimina las impurezas del aire, tales como polvo y aceite.

Al contar con un buen secado y filtrado del aire una instalación de aire comprimido, se evitarán posibles condensaciones que generan una caída del rendimiento del compresor e incrementos de las pérdidas de carga.

Figura 50 Consecuencia de un tratamiento de aire inadecuado



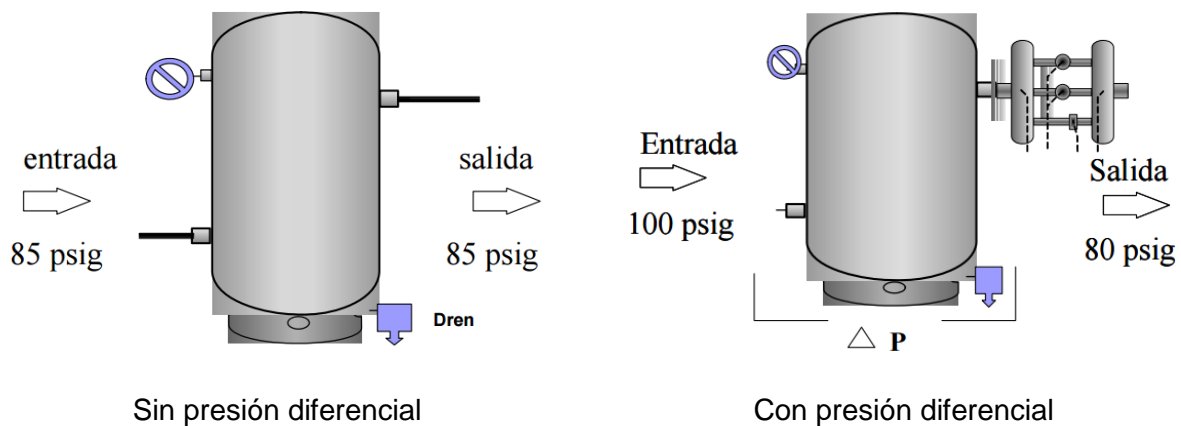
10.5 Tamaño del depósito de almacenamiento de aire

El depósito de almacenamiento o de regulación está diseñado para almacenar el aire comprimido para atender demandas puntas que excedan la capacidad del compresor. El

diseñar o disponer de un depósito pulmón bien dimensionado, evitará los picos de arranque del compresor, con sus correspondiente costos productivos. Estos depósitos cuanto mayor tamaño, menos arranques generan del compresor y más tiempo de funcionamiento en el momento que arranque, optimizando el rendimiento productivo. Por lo tanto, la cuantificación del ahorro es sujeta a un estudio de cargas y funcionamiento.

A continuación mostramos los sistemas de almacenamiento convencionales:

Figura 51 Sistemas de almacenamiento de aire



10.6 Detección de fugas de aire

Las fugas de aire existen inclusive dentro de las redes de aire comprimido mejor mantenidas, y tendrán una tendencia a ir creciendo si no son corregidas. Esto ocasiona grandes pérdidas de energía. Las causas principales de estas fugas se pueden localizar en mangueras, herramientas desgastadas y en los demás componentes de la instalación. Es de vital importancia observar continuamente las instalaciones y tomar las medidas necesarias para realizar las reparaciones.

El 70% de las fugas se da en los puntos de toma de la red de aire, y pueden localizarse fácilmente con gases especiales o simplemente con agua jabonosa. Las tuberías principales no suelen presentar grandes fugas pero es necesario revisarlas periódicamente mediante ultrasonidos para estar seguros de no contar con fugas.

Una instalación de aire, debe disponer de un porcentaje de fugas del 2 al 5%. Sin embargo, en la mayor parte de las instalaciones este porcentaje se sitúa entre el 15 y 25%. Estas fugas provocan una pérdida de aire generando un mayor funcionamiento del compresor con su correspondiente gasto económico.

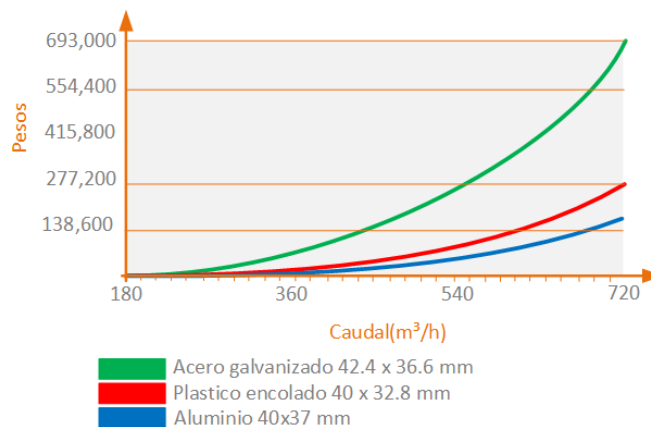
10.7 Minimizar las pérdidas de carga

Para vencer las pérdidas de carga de un circuito, el compresor debe entregar aire a una mayor presión que la de uso, generando un mayor gasto energético.

Por lo tanto es necesario:

- Limitar las curvas y accesorios en lo posible en los circuitos del distribución
- Evitar y eliminar el agua de condensación tanto a través del secado como con la implantación de puntos de purga
- Diseñar los diámetros de tubería acordes a las demandas. Una tubería mal diseñada y pequeña genera grandes pérdidas de carga.
- La selección del material de la red de tubería es un elemento crucial ya que todos los materiales no disponen de la misma rugosidad. A título informativo, se muestra el ahorro en un periodo de 10 años de funcionamiento y en base a un costo eléctrico de 1.8 \$/kWh. (longitud de 30 m y 7 bares)

Figura 52 Comparativa de material de tubería



10.8 Limitar la presión de uso

El buen diseño de una red de aire comprimido contribuye en el abaratamiento del costo operativo. No todas las zonas y puntos consumidores requieren de la misma presión de funcionamiento, por lo que es indispensable intentar limitar la presión de producción a la presión promedio. Si un equipo en toda la planta requiere de una mayor presión, basta con instalar un compresor de sobrepresión, evitando por lo tanto el aumento global de la presión. Este tipo de

intervenciones, logran ahorros del **20%** del costo productivo. Una disminución de 1 bar genera aproximadamente un ahorro de **5%**.

10.9 Resumen

En vista de que este tipo de fuente de energía está muy integrada en el sector industrial, resulta indispensable optimizar su uso para limitar el gasto operativo asociado a su producción a través de una vigilancia constante, mantenimiento adecuado y pequeñas intervenciones de mejora tales como recuperaciones y control.

Queda claro que el gasto operativo de una instalación de aire comprimido, se inicia en la fase de diseño donde se deben seleccionar con gran interés los materiales, presiones y funcionamiento de las instalaciones, considerando tanto el almacenamiento de la energía como de las demandas solicitadas.

En cuestión de una instalación existente su saneamiento puede presentar dificultades, pero no es imposible hacerlos eficientes y en muchos de los casos las inversiones no representan un impedimento, los puntos a considerar son: tener una adecuada regulación del compresor, instalar sistemas de recuperación del calor desprendido por los compresores, contar con una ventilación apta o apropiada del local, realizar el tratamiento adecuado del aire comprimido, instalar depósitos de aire con el fin de atender demandas puntas y lograr que los compresores trabajen el menor tiempo posible, mantener adecuadamente toda la red de distribución de aire eliminando las fugas que puedan existir, minimizar pérdidas de carga y limitar al máximo las presiones de uso de acuerdo a las presiones de operación de los equipos conectados

11 EJEMPLOS

11.1 ¿Cuánta energía se puede ahorrar con un recuperador de calor?

El Sistema Duotherm pone a disposición 75% de la potencia eléctrica tomada en el compresor. Esto se recupera en forma de calor por el aceite.

Los valores indicados en la tabla para la cantidad de calor y el agua se han calculado sobre la base de la recuperación de energía y las leyes generales de la transferencia de calor. Estos son, en principio, aplicable para ambos sistemas DUOTHERM. Cuando se utiliza un sistema Duotherm BWT no es rentable para calentar agua potable por encima de + 55 ° C porque la cantidad de agua es demasiado pequeña.

Los valores mostrados asumen funcionamiento continuo del compresor, y la pérdida de calor no se tiene en cuenta porque las condiciones locales varían. El cálculo del ahorro de costos de calentamiento está basados en aceite.

- Valor de calor específico H 38 MJ/l
- Precio del aceite 0.20€/l
- Eficiencia 75%
- Horas de operación 1000hr

Carga de operación	Potencia de descarga	Cantidad de calor útil	Cantidad de agua			Costo del ahorro por 1000 hr
			25 K	35 K	50 K	
(KW)	(KW/h)	(MJ/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(€)
11	8.9	32	0.305	0.217	0.152	225
15	12.3	44.2	0.42	0.3	0.21	310
18.5	14.8	53.2	0.509	0.363	0.255	373
22	17.7	63.7	0.609	0.435	0.305	447
30	24.4	87.8	0.835	0.596	0.417	616
37	30.3	109	1.04	0.743	0.52	765
45	37.7	135.7	1.295	0.925	0.647	952
55	45.5	163.8	1.565	1.118	0.782	1149
65	54.9	197.6	1.885	1.346	0.942	1387
75	63.1	227.1	2.17	1.55	1.085	1594
90	74	266.4	2.545	1.818	1.272	1869
110	90	324	3.095	2.21	1.547	2274
132	110.5	397	3.8	2.714	1.9	2786
160	133.5	480.6	4.59	3.278	2.298	3373
200	168.3	605.8	5.79	4.136	2.895	4251
250	208.9	752	7.18	5.128	3.59	5277

11.2 Ejemplo de fuga de aire 1

Con una presión de la red de 8 bar aprox. 75 l / min = 4,5 m³ / h escape de una fuga de 1 mm de diámetro. A la salida del motor de 0,6 kW se requiere para este flujo de volumen. A un precio de 0,10 € / kWh y 8000 horas de funcionamiento, las cantidades adicionales de costes anual de aprox. € 480, - dependiendo de la eficiencia del motor.

Figura 53 Pérdidas por fugas de aire – presión 8 bar

Orificio de fuga - Ø		Aire de escape a 8 bar _{op} [l/min]	Pérdidas	
[mm]	Size		Energía [kW]	Efectivo [€/Y]
1	•	75	0,6	480
1,5	◦	150	1,3	1040
2	◌	260	2,0	1600
3	◯	600	4,4	3520
4	◯	1100	8,8	7040
5	◯	1700	13,2	10580

11.3 Ejemplo de fuga de aire 2

A continuación mostramos un ejemplo práctico del gasto que representa el contar con una fuga de aire, considerando un costo promedio de energía de 1.8 \$/kWh y 8,000 horas de funcionamiento al año.

Tabla 13 Pérdidas por fugas de aire – presión 6 bar

Diámetro del orificio (mm.)	Fuga de aire a 6 bar (l/s)	Potencia adicional requerida del compresor (kW)	Costo
1	1	0.3	4,320 \$/año
3	10	3.1	44,640 \$/año
5	27	8.3	119,520 \$/año
10	105	33.0	475,200 \$/año

Bibliografía

1. Revista Energía Hoy – Diversos artículos de la sección técnica”
2. Manual del aire comprimido 2011 Atlas Copco
3. Compendio de aire comprimido BOGE
4. Termodinámica 2Ed, Cengel.

Páginas electrónicas:

<http://www.drucklufttechnik.de/english/>

[http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_(GIE))

ANEXO 1: Unidades y magnitudes

Tabla 14 Unidades y magnitudes Corriente continúa

Corriente continua				
Cantidad eléctrica	Cantidad	Intensidad	Tiempo	
	$Q = I \times t$			
	C	A	s	
Energía	Energía	Tensión	Cantidad	
	$W = U \times Q$			
	J	V	C	
	Energía	Tensión	Intensidad	Tiempo
	$W = U \times I \times t$			
	J	V	A	s
	Energía	Potencia	Tiempo	
	$W = P \times t$			
Potencia	J	W	s	
	Potencia	Tensión	Intensidad	
	$P = U \times I$			
Ley de ohm	W	V	A	
	Tensión	Resistencia	Intensidad	
	$U = R \times I$			
Resistencia de un conductor	V	Ω	A	
	Resistencia	Resistividad	Longitud	
	$R = \rho \times l/s$			Sección
	Ω	$\Omega \text{ m}$	m	
Ley de Joule	m^2			
	Energía	Resistencia	Intensidad	Tiempo
	$W = R \times I^2 \times t$			
Capacitor	J	Ω	A	s
	Carga	Capacitancia	Tensión	
	$Q = C \times U$			
Energía almacenada en un capacitor	C	F	V	
	Energía	Capacitancia	Tensión	
	$W = 1/2 C \times U^2$			
	J	F	V	

Tabla 15 Unidades y magnitudes Corriente alterna monofásica

Corriente alterna monofásica					
Tensión instantánea	Valor instantáneo	Valor máximo	Velocidad angular	Tiempo	
	$U = U_m \times \sin(\omega \times t)$				
Velocidad angular	Velocidad angular		Frecuencia		
	$\omega = 2\pi \times f$				
Frecuencia	Rad/s		Hz		
	Frecuencia		Periodo		
$f = 1 / T$					
Potencia Activa	Potencia	Tensión	Intensidad	Factor de potencia	<p>$\cos \varphi$ es el factor de potencia</p>
	$P = U \times I \times \sin \emptyset$				
Potencia Aparente	Potencia	Tensión	Intensidad		
	$S = U \times I$				
Potencia Reactiva	Potencia	Tensión	Intensidad		
	$Q = U \times I \times \sin \emptyset$				
Relación entre potencias	VAr	V	A		<p>$\cos \varphi = P/S$ $\tan \varphi = Q/P$ $\sin \varphi = Q/S$</p>
	Aparente	Activa	Reactiva		
$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$					
Impedancia	Tensión	Impedancia	Intensidad		
	$U = Z \times I$				
Inductancia	V	Ω	A		
	Tensión	Inductancia	Velocidad angular	Intensidad	
	$U = L \times \omega \times I$				
	V	H	Rad/s	A	
Capacitancia	Impedancia	Capacitancia	Velocidad angular		
	$Z = L \times \omega$				
	Ω	H	Rad/s		
	Tensión	Capacitancia	Velocidad angular	Intensidad	
$U = [1/C \times \omega] \times I$					
V	F	Rad/s	A		
Impedancia	Capacitancia	Velocidad angular			
	$Z = 1 / [C \times \omega]$				
Ω	F	Rad/s			

Tabla 16 Unidades y magnitudes Corriente alterna trifásica

Corriente alterna trifásica				
Tensión	Tensión compuesta	Tensión simple		
	$U = V \times \sqrt{3}$			
	V	V		
Potencia Activa	Potencia	Tensión	Intensidad	Factor de potencia
	$P = U \times I \times \sqrt{3} \sin \phi$			
	W	V	A	
Potencia Aparente	Potencia	Tensión	Intensidad	
	$S = U \times I \times \sqrt{3}$			
	VA	V	A	
Potencia Reactiva	Potencia	Tensión	Intensidad	
	$Q = U \times I \times \sqrt{3} \cos \phi$			
	VAr	V	A	

$S = UI \sqrt{3}$
 $Q = UI \sqrt{3} \sin \phi$
 $P = UI \sqrt{3} \cos \phi$

Magnitudes físicas		
Volumen	$V = A \times h$	m^3, l, dm^3
Flujo volumétrico	$\dot{V} = A \times h$	$m^3/h, l/min$
Presión	$P = F/A$	$N/m^2, Bar, PSI, kg/cm^2$