

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación
de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la
FETD**

AUTOR:

Darwin Jimmy Pillasagua Santana

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión
Empresarial Industrial**

TUTOR:

Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.

Guayaquil - Ecuador

2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Darwin Jimmy Pillasagua Santana**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

TUTOR

Ing. Luis Orlando Philco Asqui, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Darwin Jimmy Pillasagua Santana**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

EL AUTOR

Darwin Jimmy Pillasagua Santana



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Darwin Jimmy Pillasagua Santana**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

EL AUTOR

Darwin Jimmy Pillasagua Santana

REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND web interface. The browser address bar displays a URL: <https://secure.orkund.com/view/46985700-874638-756765#q1bKLvayija0MNcxtLDQMTIwAmJjHSNz5x0jC4NYHaXtzPS8zLTM5MS85FQIKwM9AyNjQzNDCxMTIwLswNLc2OTWgA=>. The interface includes a navigation bar with 'URKUND' and a user profile for 'Orlando Philco Asqui (orlando.philco)'. The main content area is divided into two sections: 'Documento' and 'Lista de fuentes'. The 'Documento' section shows the title 'TESIS - DARWIN PILLASAGUA 4 feb.doc (D48108542)', the date '2019-02-19 21:50 (-05:00)', the sender 'orlandophilco_7@hotmail.com', the recipient 'orlando.philco.ucsg@ analisis.orkund.com', and the subject 'tesis PILLASAGUA'. A message preview indicates that 3% of the 41 pages are composed of text present in 4 sources. The 'Lista de fuentes' section lists several URLs, including 'https://serair.es/index.php/aire-comprimido/instaladores-aire-comprimido', 'https://tecnicayateismo.wordpress.com/tag/calculo-de-aire-comprimido/', 'https://www.automationmag.com/technology/iiot-iiot-6388-the-iiot-or-industry-40-who-will...', 'https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/aire-respirable1', and 'http://ci.kaeser.com/n/images/P-2010-CL-tcm301-6752.pdf'. The interface also features a search bar, a 'Reiniciar' button, and a 'Compartir' button.

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL
TEMA:
Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD
AUTOR:
Darwin Jimmy Pillasagua Santana
Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica
TUTOR:

Reporte Urkund del trabajo de titulación de Ingeniería Eléctrico-Mecánica, denominado: **Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD** del estudiante **Darwin Jimmy Pillasagua Santana**, se encuentra al 3% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Orlando Philco Asqui

Tutor

DEDICATORIA

Este Trabajo está dedicado a Dios quien ha sido mi inspiración en todo momento por su asistencia incondicional de proveedor entero para terminar este estudio de investigación y diseño.

A mis queridos padres por sus consejos oportunos y palabras edificantes; a mis hermanos por estar ahí cuando más los necesité por su apoyo y confianza, gracias por ayudarme a cumplir uno de mis objetivos trazados.

A mi querida esposa, por estar a mi lado apoyándome y aconsejándome brindándome su paciencia y amor en los momentos más difíciles y en especial a mis hijos (Jusmely y Julen), quienes fueron mi fuente de inspiración, ellos que con su comprensión y su infinito amor, han sido quienes me alentaron a seguir día a día para poder llegar a la culminación de mi carrera haciendo de mi una persona útil al servicio de la sociedad.

A mis instructores que pusieron todo su empeño para sembrar en mí, conocimientos y principios, ayudándome a ser una persona de bien con valores y cualidades sobresalientes, porque supieron formar un profesional en cada una de sus cátedras.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, que me dio salud, fuerza, valor y coraje para seguir adelante y poder terminar este proyecto y hacer este sueño realidad, demostrándome que cada fracaso que ocurre en nuestras vidas, nos otorga algo nuevo que necesitamos aprender.

A mis profesores que con sus sabias enseñanzas y conocimientos me ayudaron a cumplir uno de mis sueños.

A la Facultad de Educación Técnica para el desarrollo, en donde se comparten conocimientos y se cultivan amistades que perduran todo el tiempo.

A mis padres, hermanos y Tíos quienes me impulsaron a no dejarme vencer por obstáculos insignificantes, en especial a mi Tío Arturo Pillasagua, por ser el principal mentor durante todo el transcurso de mi vida estudiantil, por inculcar en mí el amor por el trabajo y enseñarme que todo es posible cuando en realidad se quiere.

Mucha gratitud a mis hijos, porque sus presencias han sido y serán siempre los motivos más grandes que me han impulsado a ser realidad esta meta, a mi esposa por su comprensión y tolerancia.

A los amigos sinceros y a todo aquel que me apoyó para culminar con éxito ésta etapa de mis estudios. En mi mente y en mi corazón solo cabe la presente palabra: GRACIAS.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Manuel de Jesús Romero Paz MSc.
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Luis Orlando Philco Asqui, MSc.
COORDINADOR DE TITULACIÓN

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO I	2
GENERALIDADES	2
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del Problema	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Metodología de investigación	3
CAPÍTULO 2	4
NEUMÁTICA CONVENCIONAL	4
2.1 Composición del Aire comprimido	4
2.1 Clases de pureza para aire comprimido según ISO 8573-1:2010	5
2.1.1 ISO8573-1:2010 Clase cero	8
2.2 Variables relacionados con el aire comprimido.	10
2.2.1. Caudal.	10
2.2.2. Potencia suministrada por el motor.....	11

2.2.3. Potencia eléctrica consumida	11
2.2.4. Potencia específica.....	12
2.3 Instalaciones de aire comprimido	14
2.3.1 Aire sin aceite de alta calidad	17
2.3.2 Aire sin aceite de uso general.....	18
2.3.3 Aire comprimido con secador	19
2.3.3.1 Evacuación correcta del condensado.....	21
2.4 Líneas de suministro	26
2.4.1 Criterios para líneas de suministro	26
2.4.2 Tipos de red de aire comprimido	28
2.4.2.1 Red de aire comprimido Cerrada	28
2.4.2.2 Red de aire comprimido Abierta	29
2.5 La centralización o descentralización de la red de aire comprimido... 33	
2.6 Configuración del compresor en instalaciones de aire comprimido.... 34	
2.6.1 Configuración tres compresores:	34
2.6.2 Configuración 2 compresores	35
2.6.3 Sobredimensionamiento del compresor.....	36
2.6.3.1 Nivel de presión requerido	37
2.6.3.2 Aire comprimido caliente	38
2.7 Secadores de aire	39
CAPÍTULO 3:.....	45
LA NEUMÁTICA DIGITALIZADA	45

3.1 Características de la industria 4.0	45
3.2 Industria Inteligente	47
3.3 El Internet de las Cosas (IoT)	48
3.3.1 Internet de las Cosas Industrial	49
3.4 Sistemas ciberfísicos.....	50
3.5 Computación en la Nube	50
3.6 Integración de niveles de automatización.....	55
3.6.1 Integración de entornos IoT de Siemens MindSphere y Rockwell Factory Talk	58
CAPÍTULO 4:.....	63
DIMENSIONAMIENTO DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LABORATORIO DE LA FETD	63
4.1 Maletas de trabajo TP	64
4.3 Tableros FESTO	69
4.4 Dimensionamiento del compresor	71
4.4.1 Calculo para determinar el compresor	72
4.4.2 Cálculo Teórico	72
4.4.3 Consumo total.....	74
4.4.4 Acumulador de aire comprimido	74
4.4.5 Cálculo de tubería.....	75
4.5 Cuarto de compresor.....	75
4.6 Red de distribución.....	76
4.7 Montaje de compresor.....	77

CAPÍTULO V:.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	83
Bibliografía.....	84
Anexo 1.....	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Composición del aire en la atmosfera.....	4
Figura 2. 2 Tres elementos perjudiciales del aire comprimido	5
Figura 2. 3 La clasificación ISO 8573	6
Figura 2. 4 Designación y aplicaciones típicas conforme a la norma ISO 8573-1:.....	9
Figura 2. 5 Medición del caudal según la ISO 1217, anexo C (DIN 1945, anexo F).....	10
Figura 2. 6 Compresor de tornillo, cálculo de la potencia específica	12
Figura 2. 7 Estándar IEC: nueva clasificación de eficiencia para motores eléctricos.....	13
Figura 2. 8 Configuración general de un sistema de aire comprimido.	15
Figura 2. 9 La sala o cuarto de compresor y criterios para aplicación	16
Figura 2. 10 Criterio de aire comprimido de calidad.....	17
Figura 2. 11 Criterio de aire comprimido de uso general	18
Figura 2. 12 Diferentes procedimientos de secado según nivel de pureza..	20
Figura 2. 13 Curva de consumo energético	21
Figura 2. 14 Sistema de secado para aire comprimido.....	23
Figura 2. 15 La trampa y sus partes	24
Figura 2. 16 Drenes por flotador	25
Figura 2. 17 Drenes de condensado.....	26
Figura 2. 18 Esquema de red de aire comprimido con dispositivos y accesorios.....	27

Figura 2. 19 Ductería en red de aire comprimido tipo cerrada	28
Figura 2. 20 Instalación de aire comprimido tipo cerrada	29
Figura 2. 21 Ductería (color azul) en red abierta o línea 'muerta'	30
Figura 2. 22 Red aire comprimido abierta	31
Figura 2. 23 Red de aire comprimido tipo interconectada.....	31
Figura 2. 24. Configuración de 3 compresores con 2 al 50%	34
Figura 2. 25 configuración 2 compresores.....	35
Figura 2. 26 Secador desecante de calor de compresión.....	40
Figura 2. 27 Secador de refrigeración para caudales a 14.3 m ³ /min.	43
CAPÍTULO 3.	
Figura 3. 1 Integración y miniaturización de dispositivos neumáticos	47
Figura 3. 2 Esquema IIoT con procesos, equipos y personas conectadas ..	48
Figura 3. 3 Esquema de sistema ciberfísico	50
Figura 3. 4 Aplicaciones y datos alojados en la nube.	51
Figura 3. 5 Etapas de producción inteligente con FESTO	52
Figura 3. 6 Interfaces física y lógicas de arquitectura FESTO Cloud MyPS	54
Figura 3. 7 Pirámide de automatización con neumática digitalizada.....	55
Figura 3. 8 Bus de campo digital con equipos FESTO	56
Figura 3. 9 Terminal gateway o equipo que conecta procesos industriales con el internet	57
Figura 3. 10 MindSphere de Siemens integrado con hardware FESTO	59
Figura 3. 11 Monitoreo de variables (datos) MindSphere y FESTO.....	60

Figura 3. 12 Aplicación TeamOne de FESTO en proceso productivo..... 61

Figura 3. 13 Históricos y registro en tiempo real de proceso productivo..... 61

CAPÍTULO 4.

Figura 4. 1 Compresor de aire comprimido..... 63

Figura 4. 2 Bandejas de maletas TP: 101, 102, 201 y 202 68

Figura 4. 3 Bandejas de maletas TP: 210, 220, 240 y 1311 69

Figura 4. 4 Estación de trabajo en laboratorio de Neumática 70

Figura 4. 5 Vista de 3 estaciones de trabajo para práctica en neumática.... 70

Figura 4. 6 Ubicación de compresor para instalación de aire comprimido... 76

Figura 4. 7 Diseño de red de distribución de aire comprimido 77

Figura 4. 8 Placa del compresor Thunder 3 HP 78

Figura 4. 9 Montaje del compresor en loseta 78

Figura 4. 10 Ajustes de manómetro y purga 79

Figura 4. 11 Instalación de tubería principal y accesorios 79

Figura 4. 12 Conexión eléctrica a 220 monofásico 80

Figura 4. 13 Instalación de aire comprimido en laboratorio de Neumática de la FETD Fuente: el autor..... 80

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Características de partículas sólidas, agua y aceite según ISO 8573.....	7
---	---

CAPÍTULO 4.

Tabla 4. 1 Detalle equipamiento FESTO en Laboratorio de Neumática de la FETD	65
--	----

Tabla 4. 2 Descripción por hipervínculo de componentes de cada maleta TP FESTO.....	65
---	----

Tabla 4. 3 Cálculo de tubería.....	75
------------------------------------	----

RESUMEN

El presente trabajo de titulación estudia la neumática convencional muy empleada en procesos industriales, así también se examina la infraestructura del modelo de la neumática digitalizada, el cual se integra al concepto tecnológico de Industria 4.0 la cual con lleva a la producción inteligente, eficiencia energética, comunicación y supervisión remota. Pues los equipamientos de neumática están siendo conectados al internet de las cosas IoT. La metodología utilizada contempla 3 métodos de investigación; método descriptivo porque se detalla componentes de la neumática convencional como la digital. Se aplica el método analítico para determinar mediante cálculo teórico el tamaño adecuado del compresor y las líneas de alimentación (ramales secundarios). Se aplica el método empírico para el montaje y calibración de componentes de generación de aire comprimido, que alimentará dispositivos y equipos neumáticos que están dentro del laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil UCSG.

PALABRAS CLAVES: Neumática Digitalizada, IoT, Industria 4.0, Compresor, Aire comprimido.

ABSTRACT

The present work of titulación studies the conventional pneumatics very used in industrial processes, thus also examines the infrastructure of the model of the digitized pneumatics, which is integrated to the technological concept of Industry 4.0 which leads to the intelligent production, energetic efficiency, communication and remote supervision. Well, the pneumatic equipment is being connected to the Internet of things IoT. The methodology used contemplates 3 research methods; descriptive method because it details components of conventional pneumatics such as digital. The analytical method is applied to determine by theoretical calculation the adequate size of the compressor and the power lines (secondary branches). The empirical method for the assembly and calibration of components for the generation of compressed air is applied, which will feed pneumatic devices and equipment that are inside the Pneumatics laboratory of the Faculty of Technical Education for Development FETD of the Catholic University of Santiago de Guayaquil UCSG.

KEYWORDS: Digitalized Pneumatics, IIoT, Industry 4.0, Compressor, Compressed air.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Con la digitalización, la neumática alcanza un nuevo nivel de productividad y eficiencia. La digitalización comienza con la selección y la configuración de componentes en la fase de diseño. Utilizando las herramientas de configuración de la web del fabricante de un producto, los usuarios pueden seleccionar no solo el producto, sino también los accesorios correspondientes, y permite configurarlos. A continuación, el cliente recibe toda la información necesaria, como modelos 3D, dibujos de dimensiones y posiciones, planos de circuitos y listas de piezas.

Al igual que los dispositivos móviles pasaron a convertirse en terminales 'inteligentes' así como el internet de las cosas comunica cosas, objetos con las personas, también se ha desarrollado el IIoT, que es el internet de las cosas a nivel industrial. Y esto abarca plataformas tecnológicas, digitalización y comunicación etc. Se configura un nuevo tipo de integración funcional combinada con aplicaciones de software para simplificar toda la cadena de valor, desde la ingeniería hasta la adquisición y el almacenamiento, hasta procesos posteriores como el mantenimiento. Gracias a su fusión inteligente de mecánica, electrónica, telecomunicaciones y software se 'digitaliza' la información o datos y así el IIoT vincula a los proveedores de máquinas con la automatización.

1.2 Justificación

Comprender y aplicar a nivel industrial, lo que implica la digitalización y la distribución de la comunicación es llevar a una industria en el camino de la producción flexible. Los datos serán cada vez más la base para los nuevos modelos comerciales. Los temas de innovación, la mejora del rendimiento, el diseño modular y mecatrónico de los sistemas, la sostenibilidad y la eficiencia mantienen a la tecnología neumática y de vacío en el camino del éxito.

1.3 Planteamiento del Problema

Baja noción de la neumática digitalizada que puede recopilar, interpretar y analizar datos y transferirlos a información valiosa. La base de los nuevos modelos de negocios comerciales e industriales radica en la digitalización y la neumática y el vacío en la industria no puede quedarse sin acceder al mundo de la fabricación inteligente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar y analizar la Neumática digitalizada en el contexto de fabricación inteligente y diseño de etapa de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD,

1.4.2 Objetivos específicos

1. Describir la neumática convencional y sus componentes de generación y tratamiento de aire comprimido.
2. Estudiar componentes y estructura del paradigma de la neumática digitalizada.
3. Dimensionar la generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD.

1.5 Metodología de investigación

El tipo de investigación escogida para el presente trabajo de titulación corresponden al:

Método descriptivo; Por cuanto se describe situaciones o contextos del paradigma de la industria 4.0 y de la neumática digitalizada

Empírico: Por cuanto se realiza cálculos para establecer etapas de generación y tratamiento de aire comprimido del laboratorio de la FETD.

Analítico; Por cuanto aporta con análisis al aspecto de la fabricación inteligente, integrando la neumática y el vacío en la industria.

CAPÍTULO 2

NEUMÁTICA CONVENCIONAL

2.1 Composición del Aire comprimido

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión, compuesto por lo general en un 78% de Nitrógeno, un 21% de Oxígeno y en un 1% de otros gases, físicamente es inodoro, incoloro e insípido.

El aire puede estar contaminado por gases sulfurosos, monóxidos de carbono y suciedad, humedades o partículas. En la figura 2.1 se muestra los porcentajes aproximados de los diversos gases que componen el aire.

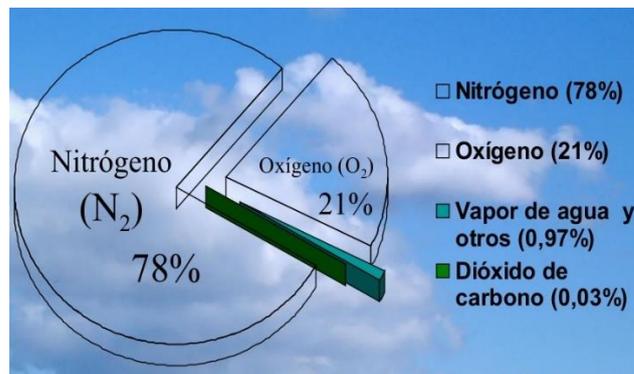


Figura 2. 1 Composición del aire en la atmosfera

Fuente: (Bueno, 2013)

Al producir aire comprimido (comprimir el aire ambiental) y al transportarlo a través de los tubos, pueden entrar otros elementos dañinos. Si se desea aumentar la seguridad de los procesos y la disponibilidad de las máquinas, se deberá empezar por analizar la alimentación de aire comprimido.

Las partículas, el agua y el aceite son los enemigos naturales de un aire comprimido perfectamente preparado. Crean problemas a los componentes y exigen una energía adicional.

Un metro cúbico de aire comprimido sin tratar contiene casi 200 millones de partículas de suciedad, y grandes cantidades de agua, aceite, plomo, cadmio

y mercurio. Estos componentes ponen en peligro la capacidad de funcionamiento de sus máquinas.

Las máquinas necesitan de aire comprimido limpio. Generar aire comprimido limpio y seco en alto grado conviene a procesos e instalaciones para aumentar sus valores de:

- Disponibilidad de la máquina
- Seguridad en los procesos
- Vida útil

Según el proceso se debe obtener aire comprimido limpio a través de la preparación de aire comprimido. El grado de limpieza que requiere su aire comprimido depende de su aplicación y la calidad de aire comprimido requerido para la misma.

Para definir la calidad del aire comprimido, existen clases de pureza estandarizadas.

2.1 Clases de pureza para aire comprimido según ISO 8573-1:2010

Esta norma (Organización internacional de normalización) define la calidad del aire comprimido por consiguiente las distintas clases de calidad de aire comprimido y fija la cantidad máxima de elementos contaminantes en las distintas clases. Según la aplicación y el caudal se necesitan distintas clases de pureza. Los tres elementos más importantes de la contaminación son las partículas de polvo, el agua y el aceite.



Figura 2. 2 Tres elementos perjudiciales del aire comprimido

Fuente: (FESTO, 2018)

ISO8573 es el grupo de normas internacionales referentes a la calidad (o pureza) del aire comprimido. La norma consta de nueve partes: la parte 1 especifica los requisitos de calidad del aire comprimido, y las partes 2 a 9 especifican los métodos de prueba para una amplia gama de contaminantes.



Figura 2. 3 La clasificación ISO 8573

Fuente: ISO 8573 Manual (PARKER, 2015)

Se clasifican de acuerdo con su grado de concentración en el aire y se muestran de la siguiente manera:

ISO 8573-1: 2010 [A: B: C]

A - partículas | 0 ... 8, X

B - agua | 0 ... 9, X

C - aceite | 0 ... 4, X

En caso de que un elemento se muestre como clase X (= un elemento con una alta concentración), su cantidad o el grado de concentración se deben colocar entre paréntesis. Véase la tabla 2.1

Tabla 2. 1 Características de partículas sólidas, agua y aceite según ISO 8573

ISO 8573-1:2010	Partículas sólidas				Agua		Aceite
	Número máximo de partículas por m ³			Concentración máscica mg/m ³	Punto de rocío a presión de vapor	Líquida g/m ³	Concentración total de aceite (líquido, aerosol y vapor) mg/m ³
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				
0	Tal como especifique el usuario o el proveedor del equipo y más estrictos que los de la Clase 1.						
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10 000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100 000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Fuente: (PARKER, 2015)

En la tabla 2,1, se puede consultar las recomendaciones de los expertos de Festo, elaboradas teniendo en cuenta los valores límite predefinidos conforme a la norma ISO 8573-1:2010.

A continuación, se ofrece un ejemplo de cómo especificar una calidad del aire: ISO8573-1:2010

Clase 1.2.1 ISO8573-1:2010 hace referencia al documento de la norma y a su revisión; los tres dígitos se refieren a las clasificaciones de pureza seleccionadas para las partículas sólidas, el agua y el total de aceite. Si se seleccionase una clase de pureza del aire de 1.2.1, se especificaría la siguiente calidad del aire al funcionar en las condiciones de referencia de la norma:

Clase 1 - Partículas En cada metro cúbico de aire comprimido, el máximo de partículas es de 20 000 de 0,1 - 0,5 micras, 400 partículas de 0,5 - 1 micras y 10 partículas de 1 - 5 micras.

Agua de clase 2 Se requiere un punto de rocío a presión (PDP) de -40 °C como máximo y no se permite agua líquida.

Clase 1 - Aceite No se permiten más de 0,01 mg de aceite en cada metro cúbico de aire comprimido. Este es el nivel total para aceite líquido, aerosoles de aceite y vapores de aceite.

2.1.1 ISO8573-1:2010 Clase cero

La definición de Clase 0 no implica que solo se permita una contaminación de nivel cero.

- La Clase 0 indica que el usuario y el fabricante del equipo deben acordar los niveles de contaminación como parte de una especificación por escrito.
- Los niveles de contaminación acordados para una especificación de Clase 0 deben estar dentro de las posibilidades de medición del equipo de prueba y los métodos de prueba descritos en ISO8573 de Parte 2 a Parte 9
- La especificación de Clase 0 acordada debe constar por escrito en toda la documentación para cumplir la norma.
- Establecer la Clase 0 sin la especificación acordada no tiene sentido y no cumple la norma.
- Varios fabricantes de compresores afirman que el aire suministrado de los compresores sin aceite cumple la Clase 0.
- Si el compresor se probó en condiciones de sala blanca, la contaminación detectada en la salida será mínima. Si el mismo compresor se instala en un entorno urbano típico, el nivel de contaminación dependerá de lo que entra en la admisión del compresor, con lo cual la indicación de Clase 0 dejará de ser válida.
- Un compresor que suministra aire de Clase 0 seguirá necesitando un equipo de purificación, tanto en la sala del compresor como en el punto de servicio, para mantener la pureza de Clase 0 en la aplicación.
- El aire para aplicaciones críticas, como aire respirable, de uso clínico, para el sector alimentario, etcétera, normalmente solo requiere una calidad del aire de Clase 2.2.1 o Clase 2.1.1

En la figura 2.4 se muestra aplicaciones típicas conforme a la norma ISO 8573-1:

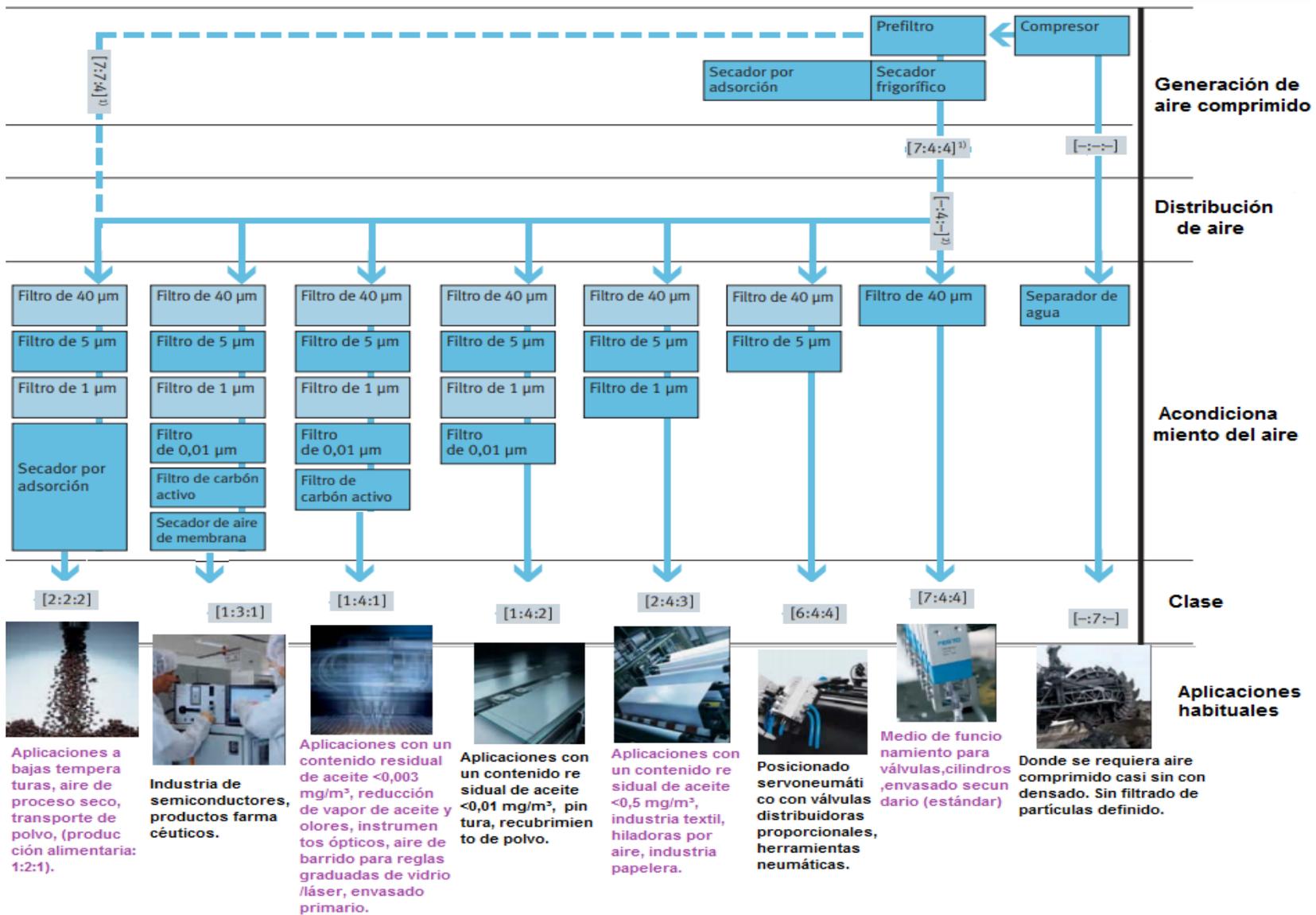


Figura 2. 4 Designación y aplicaciones típicas conforme a la norma ISO 8573-1:

Fuente: Diseño el autor a partir de FESTO

El fabricante PARKER (2010) en su manual Fundamento de aire comprimido, señala que, si se produce aire comprimido en condiciones desfavorables, puede resultar caro, pero si se genera correctamente puede ser muy económico.

2.2 Variables relacionados con el aire comprimido.

Se debe tener al menos en consideración cuatro variables:

2.2.1. Caudal.

El caudal es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor comprime y suministra a la red de aire comprimido. Las normas DIN 1945, parte 1, anexo F e ISO 1217, anexo C determinan la medición correcta del caudal. Para medir el caudal, se procede como se indica en la figura 2.4, primero se miden la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire a la entrada de la unidad. A continuación, se mide la presión máxima de servicio, la temperatura del aire comprimido y el volumen del aire comprimido a la salida del compresor.

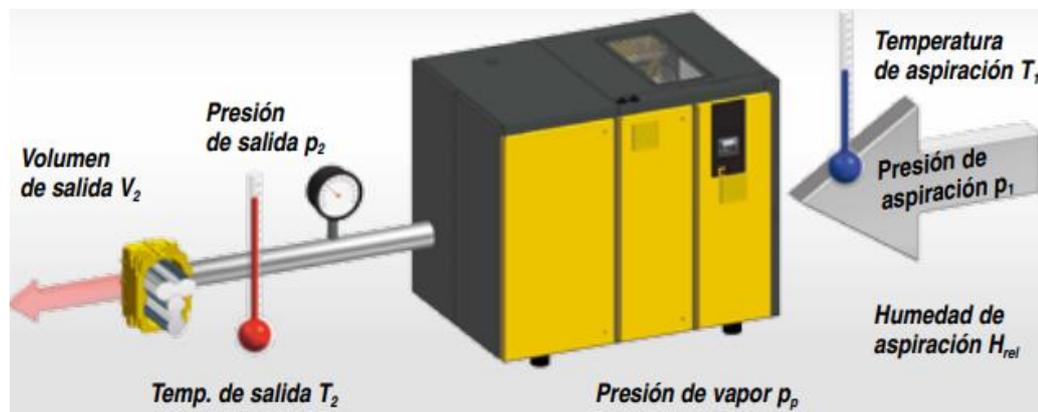


Figura 2. 5 Medición del caudal según la ISO 1217, anexo C (DIN 1945, anexo F)

Fuente: (PARKER, 2010)

Finalmente, se recalcula el V_2 en la salida de aire comprimido con ayuda de la ecuación de gas (ver fórmula) teniendo en cuenta las condiciones de aspiración del aire.

El resultado de este cálculo es el caudal del compresor que no se debe confundir con el caudal de la unidad de compresión.

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[p_1 - (p_o \times F_{rel})] \times T_2}$$

2.2.2. Potencia suministrada por el motor

Esta es la potencia que el motor del sistema de accionamiento del compresor transmite mecánicamente al eje de accionamiento. La potencia óptima es aquella con la que se obtiene el mejor rendimiento eléctrico del motor sin sobrecargarlo y con la que se alcanza el factor de rendimiento $\cos \phi$. Se encuentra en el campo de la potencia nominal del motor, que puede consultarse en la placa de características del motor eléctrico. (PARKER, 2010).

Si la potencia suministrada por el motor difiere mucho de la potencia nominal, el compresor estará consumiendo demasiada energía y se verá sometido a un desgaste excesivo.

2.2.3. Potencia eléctrica consumida

El consumo eléctrico es igual a la potencia que el motor principal del compresor consume de la red, con una carga mecánica concreta del eje del motor (potencia suministrada por el motor). La potencia consumida por el motor es igual a la potencia suministrada al eje más las pérdidas eléctricas y mecánicas internas del motor, producidas en los rodamientos del motor y por su ventilación. El consumo ideal de potencia en el punto nominal se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

U_n , I_n , y $\cos \phi_n$ están indicados en la placa de características del motor eléctrico.

2.2.4. Potencia específica

La potencia específica se define como la relación entre la potencia eléctrica consumida y el caudal suministrado a una presión de servicio determinada. Véase la figura 2.6.

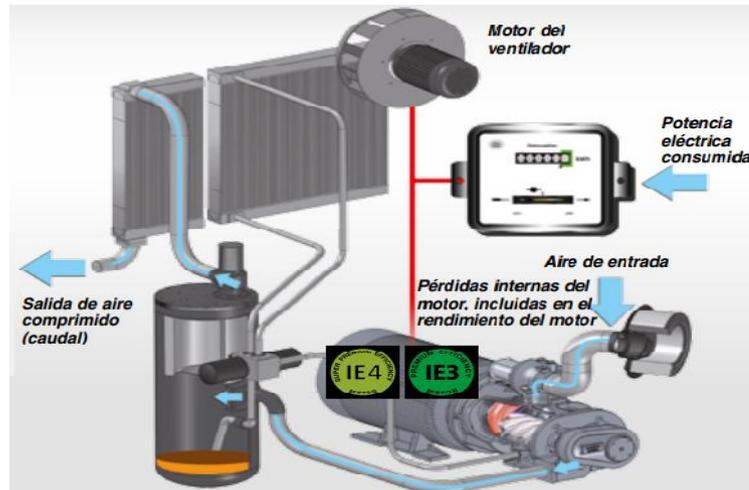


Figura 2. 6 Compresor de tornillo, cálculo de la potencia específica

Fuente: (PARKER, 2010)

La potencia eléctrica consumida por un compresor es la suma de las potencias eléctricas consumidas por todos los accionamientos del compresor, como el motor principal, el motor del ventilador, el motor de la bomba de aceite, la calefacción auxiliar, entre otros.

Si se necesita la potencia específica para realizar cálculos de rentabilidad, ésta deberá referirse al compresor completo a la presión de servicio máxima. Se dividirá el consumo total de electricidad a presión máxima entre el caudal a presión máxima:

$$P_{\text{spec}} = \frac{\text{Potencia eléctrica consumida}}{\text{caudal}}$$

La nueva fórmula para un accionamiento con menos consumo. En 1997 empezaba en los EE.UU. la clasificación de los motores asíncronos trifásicos con la Energy Policy Act (EPACT). Más tarde se inició una clasificación de eficiencia también en Europa. Desde 2010 está vigente el estándar IEC internacional para motores eléctricos. Las clasificaciones y los supuestos legales han propiciado una mejora notable de la eficiencia energética de los motores eléctricos incluidos en las clases Premium.

Los motores de eficiencia mejorada ofrecen las siguientes ventajas:

a) Bajas temperaturas de servicio Las pérdidas internas de rendimiento del motor provocadas por calentamiento o por rozamientos pueden ascender hasta un 20 % en motores pequeños, y entre un 4 % y un 5% en motores a partir de 200 hp. Los motores IE3/IE4 presentan un calentamiento mucho menor y, por tanto, menos pérdidas térmicas (figura 2.6). Un motor convencional registra un calentamiento de aprox. 80K y conserva una reserva térmica de 20K funcionando a carga normal con respecto a un aislamiento F, mientras que un motor IE sólo se calienta aprox. 65K en las mismas condiciones, manteniendo una reserva de 40K. (PARKER, 2010).

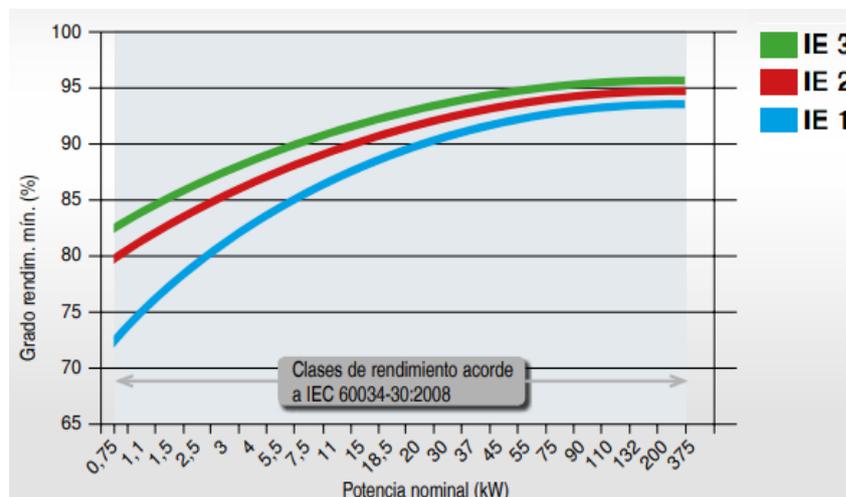


Figura 2. 7 Estándar IEC: nueva clasificación de eficiencia para motores eléctricos.

Fuente: (PARKER, 2010)

Los motores IE3 son obligatorios en la UE desde el 1 de enero de 2015. Entretanto se ha creado una clase de eficiencia aún más avanzada, la IE4 .

b) Mayor duración. Temperatura más baja de servicio supone una carga térmica menor del motor, de los cojinetes y de la caja de bornes. Como consecuencia, se alarga la vida útil del motor.

c) Un 6 % más de aire comprimido con menos consumo de energía. Menos pérdidas de calor significan también un ahorro de energía. Al conseguirse una mejora de un 6% en los caudales y de un 5% en las potencias específicas. El resultado es una mejora del rendimiento, periodos de marcha de los compresores más cortos y menor consumo por metro cúbico de aire comprimido suministrado.

2.3 Instalaciones de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. Del lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y depósitos y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

La calidad de aire requerida en cada punto de un sistema de aire comprimido puede variar por aquello debe dimensionarse la demanda o consumo de aire comprimido. Para lograr los estrictos niveles de calidad del aire que se requieren en las instalaciones actuales de producción, se deben estudiar cuidadosamente el diseño, la puesta en servicio y el uso del sistema. El tratamiento en un único punto resulta insuficiente; se recomienda tratar el aire comprimido en la sala del compresor para proporcionar aire de uso general al emplazamiento y también proteger las tuberías de distribución (PARKER, 2015).

En la figura 2.8 se aprecia una instalación de aire comprimido; los elementos principales que la componen son el compresor (que incluye normalmente un depósito de almacenamiento de aire comprimido), el

enfriador (aftercooler), un deshumidificador (moisture separator), drenaje de condensado, las líneas de suministro, y los puntos de consumo con su regulador y filtro.

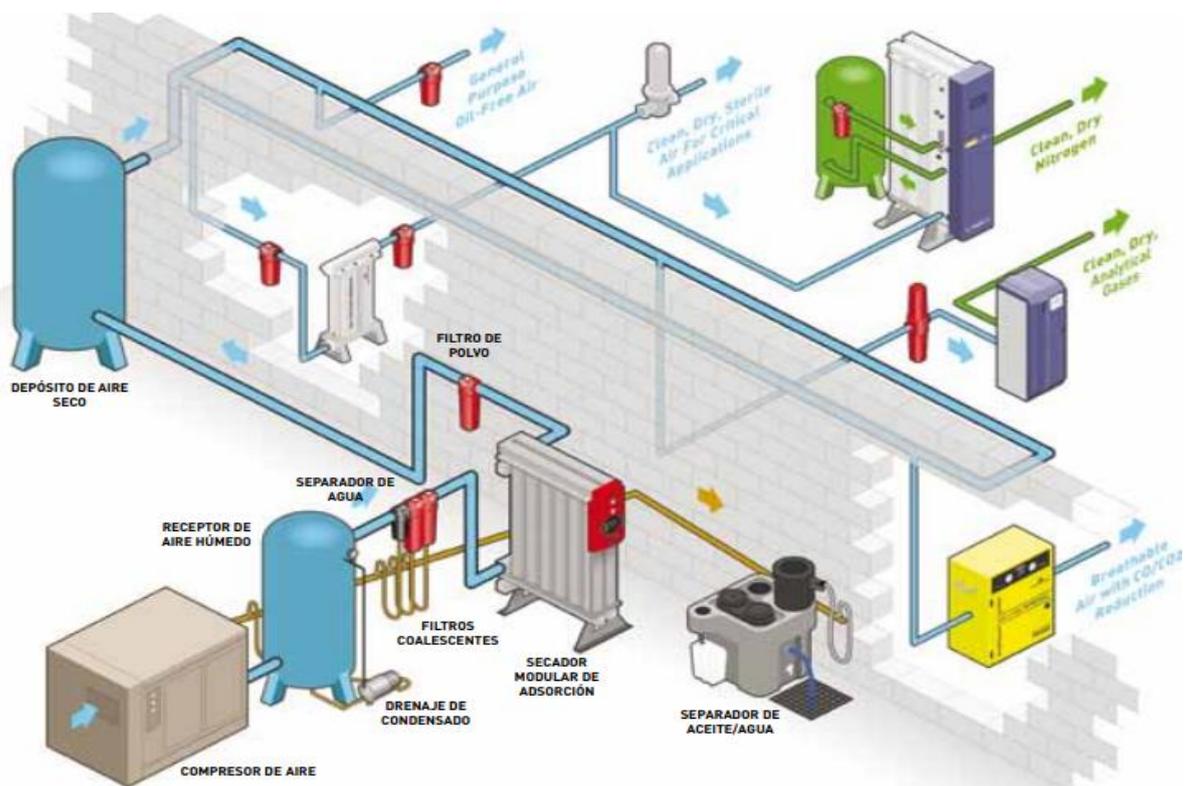


Figura 2. 8 Configuración general de un sistema de aire comprimido.

Fuente: (PARKER, 2015)

El compresor aspira aire de la atmósfera y lo comprime en un volumen más pequeño, almacenándolo después normalmente en un depósito (air receiver). Básicamente, hay cinco tipos de compresores de aire que se emplean en la industria, que se agrupan a su vez dentro de dos grandes familias: compresores de desplazamiento positivo (CDP) y compresores rotodinámicos o turbocompresores (TC) (Universidad de Oviedo, 2006).

Normalmente suele ir integrado dentro del compresor, como una parte más de la unidad que proporciona aire comprimido. De hecho, los compresores suelen trabajar de forma discontinua, arrancando cuando la cantidad de aire

que queda almacenada en el compresor es baja. Además, el depósito sirve para amortiguar las fluctuaciones de caudal que vienen del compresor (especialmente en los CDP) y evitar que se transmitan a los puntos de consumo. Por tanto, el compresor se regula para que arranque y pare y almacene el aire a presión en el depósito, tratando de espaciar al máximo sus ciclos de trabajo. Como norma general se acepta que los compresores alternativos trabajen durante unas 10 veces a la hora, con un máximo de funcionamiento del 70%. Por el contrario, compresores centrífugos, de husillo y de paletas deslizantes, pueden trabajar el 100% del tiempo. (Universidad de Oviedo, 2006)

Asimismo, se debe aplicar la purificación en punto de servicio, no solo para eliminar la contaminación restante en el sistema de distribución, sino también prestando especial atención a la calidad del aire necesaria para cada aplicación. Esta metodología de diseño del sistema evita que se efectúe una purificación excesiva del aire y proporciona la solución más rentable para la obtención de aire comprimido de alta calidad.

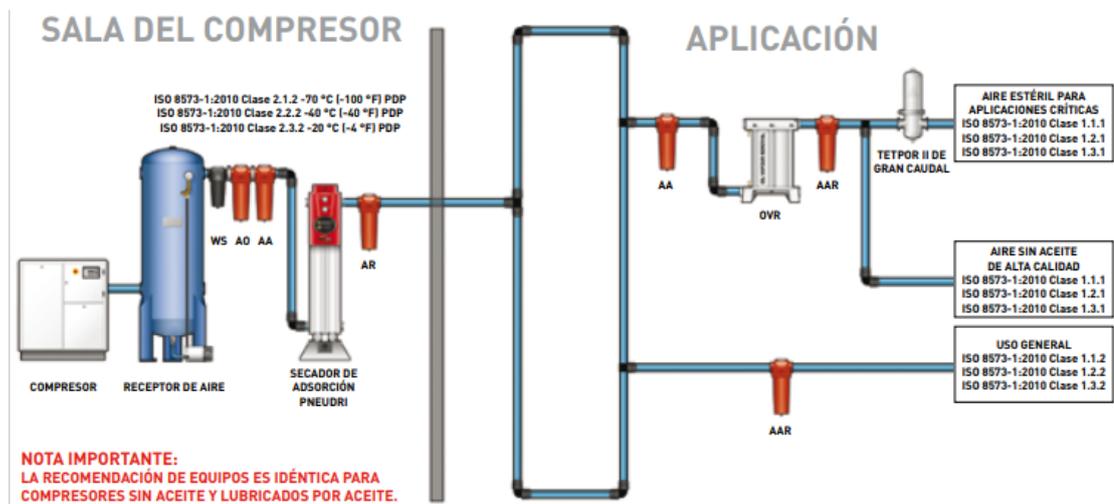


Figura 2. 9 La sala o cuarto de compresor y criterios para aplicación

Fuente: (PARKER, 2015)

Aplicaciones típicas: Productos farmacéuticos, Fabricación de obleas de silicio, Fabricación de pantallas TFT/LCD, Fabricación de dispositivos de memoria Dispositivos de almacenamiento óptico, Fabricación de discos

ópticos, Alimentación, Lácteos, Cervecería, Sistemas CDA para fabricación de productos electrónicos.

2.3.1 Aire sin aceite de alta calidad

Puesto que al comprimir el aire éste se calienta, su capacidad para retener vapor de agua aumenta. Por el contrario, un incremento en la presión del aire reduce notablemente su capacidad para retener agua. Por tanto, mientras el aire se comprime en el compresor, la alta temperatura evita que el agua condense, pero una vez en las conducciones, el descenso de temperatura, mantenido a presiones altas, sí conlleva la condensación de agua en las tuberías.

Por tanto, para eliminar posibles condensaciones, se reduce la temperatura del aire en un dispositivo que se coloca justo a la salida del compresor (sin esperar a que ese descenso tenga lugar en las propias líneas de suministro de aire comprimido). Para ello se introduce un enfriador (aftercooler), tan próximo al compresor como sea posible. El aftercooler no es más que un intercambiador de calor, que puede funcionar bien con agua bien con aire como fluido caloportante (Universidad de Oviedo, 2006).

En la figura 2.10 se muestra una instalación de aire comprimido

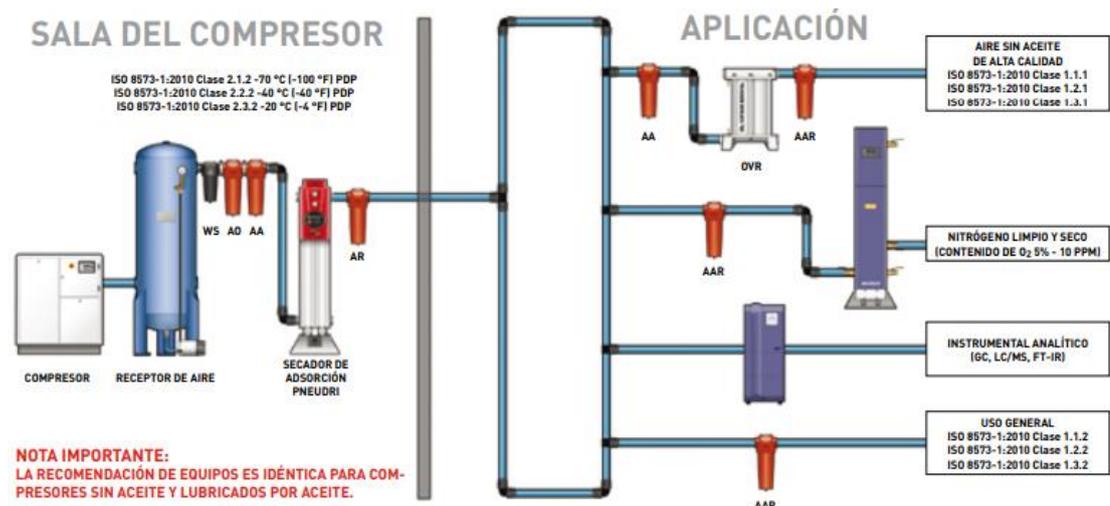


Figura 2. 10 Criterio de aire comprimido de calidad

Fuente: (PARKER, 2015)

Aplicaciones típicas: Moldeo por soplado de plásticos, p. ej. botellas de tereftalato de polietileno, Tratamiento de película, Instrumentación crítica, Sistemas neumáticos avanzados, Disyuntores de aire comprimido, Cámaras de descompresión, Producción de cosméticos, Aire de uso clínico, Aire de uso odontológico, Láser y óptica, Robótica, Pintura con pistola, etc.

El compresor de aire puede ser lubricado o exento de aceite. En cualquiera de los dos casos, será recomendable instalar filtros de carbón activo para la eliminación de vapores de aceite producidos por el compresor o por el ambiente desde el que toma el aire. (Mundo Compresor, 2019)

Habitualmente, suele haber un depósito acumulador que regula el sistema de aire comprimido y decanta una gran cantidad de agua. Si no existiera un depósito adecuado, se puede montar un separador de condensados con un buen sistema de purga, para evacuar el agua condensada.

2.3.2 Aire sin aceite de uso general

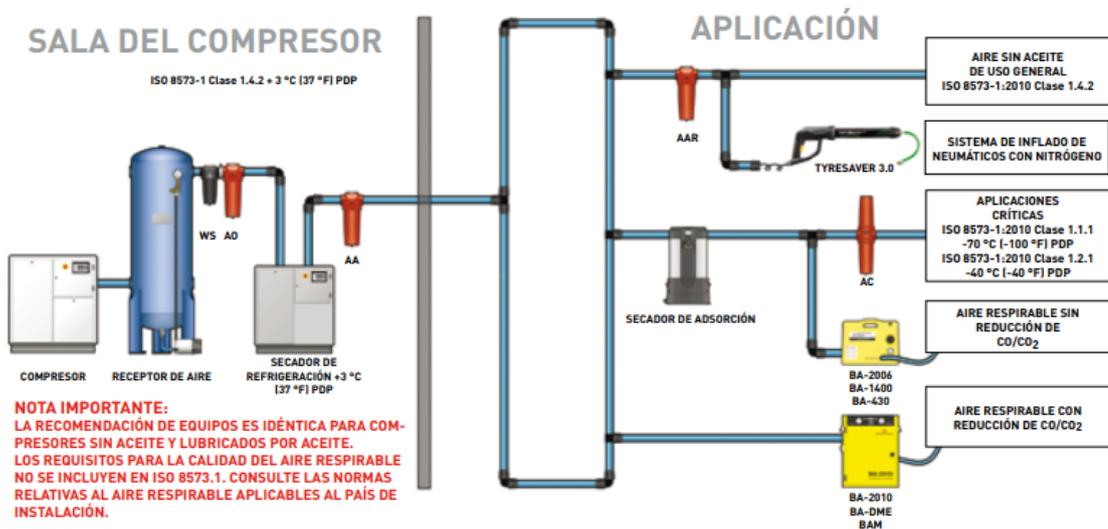


Figura 2. 11 Criterio de aire comprimido de uso general

Fuente: (PARKER, 2015)

Aplicaciones típicas Protección general del anillo circular Prefiltrado en secadores de aire de adsorción de punto de servicio, Automatización de plantas, Logística del aire, Herramientas neumáticas, Estampado de metal, Forja, Montaje industrial general (sin tuberías externas), Transporte

neumático, Motores de aire comprimido, Taller (herramientas), Sistemas de control de la temperatura, Pistolas de aire comprimido etc.

Criterios para secado de aire

A continuación, se conceptualiza algunos criterios para el secado de aire en instalaciones de aire comprimido.

a) Humedad absoluta Entendemos por humedad absoluta la cantidad de vapor de agua contenida en el aire expresada en g/m³.

b) Humedad relativa (H_{rel}) La humedad relativa indica el grado de saturación del aire, es decir, la relación entre su contenido real de agua y el punto de saturación real (100% H_{rel}). Esta humedad depende de la temperatura de cada momento: El aire caliente puede contener una cantidad de vapor de agua mayor que el aire frío.

c) Punto de rocío atmosférico El punto de rocío atmosférico es la temperatura a la cual el aire alcanza el grado de saturación del 100% (H_{rel}) a presión atmosférica (condiciones ambientales).

d) Punto de rocío de presión Por punto de rocío de presión entendemos la temperatura a la que el aire comprimido alcanza su punto de saturación (100% H_{rel}) a su presión absoluta. Refiriéndonos al ejemplo descrito arriba: El aire, a una presión de 145 psi, tendrá a un punto de rocío de presión de 37 °F una humedad absoluta de 6g por 35 pies cúbicos de servicio. Si liberamos 35 de los pies cúbicos de servicio del ejemplo, comprimidos a 145 psi, hasta alcanzar la presión atmosférica, su volumen se multiplicará por diez. Los 6g de vapor de agua no varían, pero se reparten en ese volumen mayor. Cada metro cúbico descomprimido contendría, por tanto, 0,6g de agua (PARKER, 2015).

2.3.3 Aire comprimido con secador

Las nuevas regulaciones referidas a agentes refrigerantes no convierten los secadores desecantes en una alternativa real a los secadores refrigerativos, ni desde el punto de vista económico ni desde el ecológico. Los secadores

refrigerativos solamente consumen un 3% de la energía que necesita el compresor para producir el aire comprimido, mientras que los secadores desecantes consumen entre un 10 y un 25 % o incluso más. Por eso, será preferible optar por un secador refrigerativo siempre que sea posible. El uso de secadores desecantes solo es recomendable si se requiere aire comprimido extraordinariamente seco, con puntos de rocío de hasta -4, -40 ó -94 °F (figura 2.12). Con frecuencia, los sistemas de aire comprimido sufren fuertes oscilaciones de consumo a lo largo del día.

Procedimiento de secado	Punto de rocío °F	Potencia específica típica consumida hp/cfm
Secador refrigerativo	37	0.1
HYBRITEC	37 / -40*) -40	0.2 0.3
Secador desecante regenerado en caliente	- 40	0.5 – 0.6
Secador desecante regenerado en frío	- 4 - 94	1.4 – 1.6

Figura 2. 12 Diferentes procedimientos de secado según nivel de pureza

Fuente: (PARKER, 2015)

A lo largo del año también se producen variaciones, que van acompañadas, además, de grandes cambios de temperatura. Por eso, los secadores de aire comprimido deberán dimensionarse contando con las peores condiciones imaginables: la presión más baja, el consumo máximo de aire comprimido, así como las temperaturas más altas ambientales y de entrada del aire comprimido.

Antes, los secadores funcionaban en servicio continuo, pero esto suponía un gran despilfarro de energía, sobre todo en las etapas de carga parcial. Los secadores de aire comprimido modernos adaptan su consumo a las variaciones de la demanda gracias a la regulación por parada diferida, manteniendo constante la alta calidad del aire comprimido (figura 2.13). De esta forma es posible ahorrar hasta un 50 % de energía de media anual. El

uso de una técnica de alta eficiencia energética es importante sobre todo para alcanzar puntos de rocío por debajo de cero grados centígrados, ya que los secadores desecantes que se usan para ello suelen consumir mucha energía.

El sistema HYBRITEC combina eficientemente dos procedimientos de secado para reducir notablemente el consumo de energía: Está formado por un secador refrigerativo y un secador desecante. El aire comprimido pasa primero por el secador refrigerativo, del que sale con un punto de rocío de 37 °F. Tras este secado previo, el secador desecante lo deja con un punto de rocío -40 °F, para lo cual consume considerablemente menos energía.

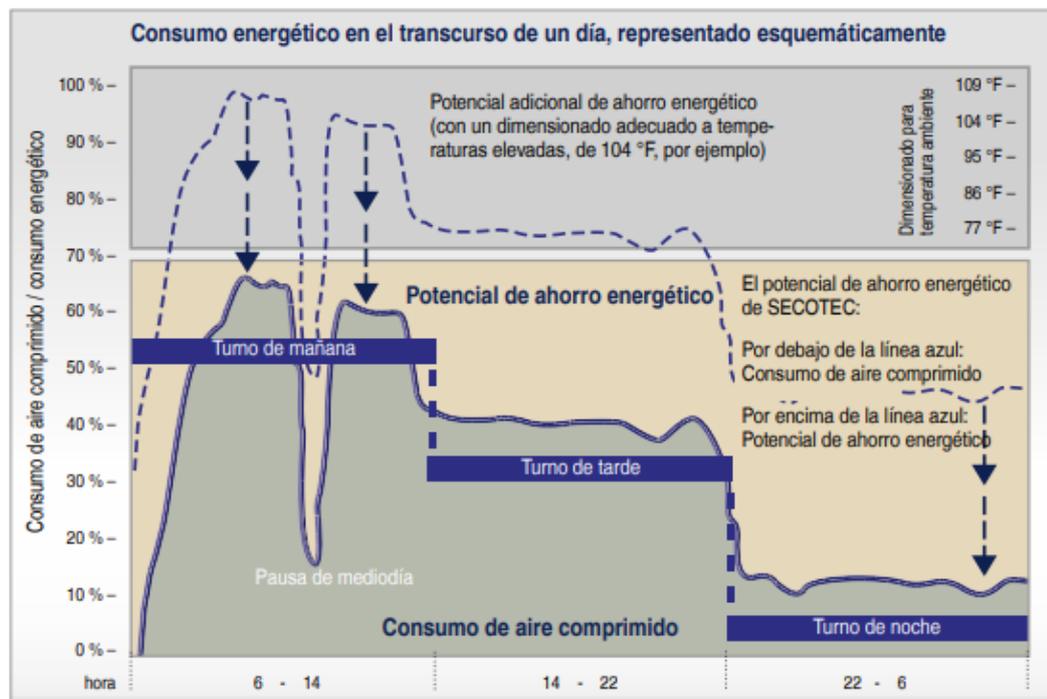


Figura 2. 13 Curva de consumo energético

Fuente: (PARKER, 2010)

2.3.3.1 Evacuación correcta del condensado

El condensado es un subproducto inevitable del aire comprimido. Un compresor de 40 hp con un caudal de 177 cfm puede producir aprox. 20 litros de condensado por turno en condiciones normales de servicio. Este condensado debe eliminarse del sistema para evitar averías y daños por

corrosión. En este capítulo encontrará información sobre cómo evacuar correctamente el condensado al menor costo posible.

1. Expulsión de condensados En todos los sistemas de aire comprimido se forma condensado en puntos concretos y con diferentes sustancias contaminantes (figura 1). Por esta razón, es imprescindible contar con un sistema confiable de expulsión de condensados. Su buen o mal funcionamiento tendrá una repercusión notable en la calidad del aire comprimido, en la seguridad de servicio y en la economía del sistema de aire comprimido.

a) Puntos de colección y expulsión Se empieza a coleccionar y expulsar mediante elementos mecánicos instalados en el sistema de aire comprimido. Gracias a estos elementos se elimina ya un 70-80 % del condensado total, siempre que los compresores cuenten con un buen sistema de enfriamiento final. Separador centrífugo: Se trata de un separador mecánico que elimina el condensado de la corriente de aire sirviéndose de la fuerza centrífuga (figura 2.14). Para garantizar un funcionamiento óptimo, convendrá que cada compresor tenga su propio separador centrífugo. Enfriador intermedio: En los compresores de dos etapas también se recoge condensado en los separadores de los enfriadores intermedios.

Depósito de aire comprimido: Aparte de su función principal como almacenador de aire comprimido, el depósito también ayuda a separar el condensado por medio de la fuerza de gravedad (figura 1).



Figura 2. 14 Sistema de secado para aire comprimido

Fuente: (PARKER, 2010)

Con las dimensiones correctas (caudal del compresor/min: 3 = tamaño del depósito en m³), será tan eficaz como el separador centrífugo. A diferencia del separador centrífugo, puede instalarse en la conducción principal del sistema de aire comprimido, siempre que su entrada de aire se encuentre en la parte inferior y la salida en la superior. Además, el depósito enfría el aire comprimido gracias a su gran superficie de derivación térmica, lo cual favorece la separación del condensado. "Trampas" de agua en la conducción de aire comprimido: Para evitar un flujo incontrolado del condensado en la red, será conveniente que todos los puntos de entrada y salida del sector húmedo se conecten desde arriba o lateralmente.

Las salidas controladas de condensado hacia abajo, las llamadas "trampas" de agua, permiten evacuar el condensado de la red principal. A una velocidad de flujo de 3 a 10 pies/s y con el diseño correcto, las trampas de agua pueden separar de la corriente el condensado con la misma efectividad que los depósitos de presión (figura 2.15).

b) Secador de aire comprimido Aparte de los puntos de acumulación y evacuación de condensado ya nombrados, existen otros en el campo del secado. Secador refrigerativo:



Figura 2. 15 La trampa y sus partes

Fuente: (PARKER, 2010)

Es posible separar condensado en el secador refrigerativo gracias al enfriamiento del aire, que hace que el vapor de agua se condense y se precipite.

Secador desecante: Gracias al notable enfriamiento que experimenta el aire comprimido en la red, es mucho el condensado que se separa ya en el prefiltro del secador desecante. Luego, en el interior del secador desecante, el agua solo se encuentra en forma de vapor debido a las condiciones de presión parcial.

c) Drenaje descentralizado Si el sistema no cuenta con un secado centralizado del aire, el condensado se precipitará en grandes cantidades en los separadores instalados poco antes de los puntos de consumo, que suponen un gran trabajo de mantenimiento.

2. Sistemas de evacuación

Actualmente se utilizan sobre todo tres sistemas:

a) Drenes por flotador Los drenes con flotador son quizá el sistema de evacuación más antiguo y se creó para sustituir a la evacuación manual, poco económica y segura. Pero este sistema (figura 2.16) pronto empezó a mostrar puntos débiles debido a las impurezas contenidas en el aire comprimido, que provocaban averías con frecuencia y hacían preciso un mantenimiento intensivo.

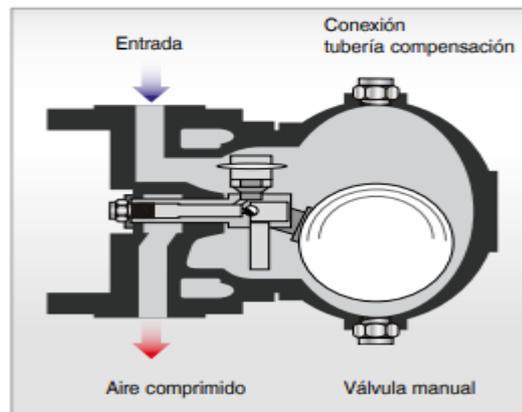


Figura 2. 16 Drenes por flotador

Fuente: (PARKER, 2010)

b) Válvula solenoide Las válvulas solenoides con temporizador son un sistema más seguro que los drenes con flotador, pero deben limpiarse con frecuencia. Además, si los tiempos de apertura de la válvula están mal ajustados, se producirán pérdidas de presión, lo cual significará un mayor consumo energético.

c) Drenes de condensados controlados según el nivel En la actualidad se utilizan principalmente drenes con control inteligente del nivel (figura 2.17). Un dren electrónico sustituye el flotador, que tantas averías sufría: Y con esto se evitan muchas averías por suciedad o por desgaste mecánico. También se evitan las pérdidas de presión típicas del sistema con flotador gracias a un cálculo y un ajuste exacto de los tiempos de apertura de las válvulas. La supervisión automática y la posibilidad de transmisión de señales son otras dos ventajas de este sistema.

d) Instalación correcta Debe instalarse siempre una conducción corta con llave de bola entre el separador y el dren de condensados (figuras 2.17). Esta llave permitirá cerrar el paso del condensado cuando haya que realizar trabajos de mantenimiento en el dren sin impedir que la estación de aire comprimido siga funcionando con normalidad.



Figura 2. 17 Drenes de condensado

Fuente: (PARKER, 2010)

2.4 Líneas de suministro

Puesto que el compresor, el depósito y los enfriadores suelen situarse en una sala, es preciso diseñar la distribución en planta (piping lay-out) de las líneas de suministro desde el compresor a los puntos de consumo. Se ha procurado que la distribución minimice en la medida de lo posible las longitudes de las tuberías desde el compresor al punto más alejado. En aquellas redes que sean muy extensas, es preferible situar el compresor en una zona central, minimizando así la distancia al punto más alejado.

2.4.1 Criterios para líneas de suministro

Los puntos de drenaje se colocan con la ayuda de T's, ya que el cambio brusco en la dirección del flujo facilita la separación de las gotas de agua de la corriente de aire. ³/₄ Las tuberías deben ir descendiendo levemente en la dirección del flujo. La pendiente puede fijarse aproximadamente en un 1%. Las conexiones de las diversas ramificaciones se hacen desde arriba (para obstaculizar al máximo posibles entradas de agua).

En todos los puntos bajos es recomendable colocar puntos de drenaje. Así mismo, en la línea principal se pueden colocar cada 30 – 40 metros, saliendo siempre desde el punto inferior de la tubería.

El número de juntas y codos debe reducirse al máximo posible. De esta forma las pérdidas serán las menores posibles. La figura 2.18 muestra el típico esquema y componentes de una instalación de aire comprimido.

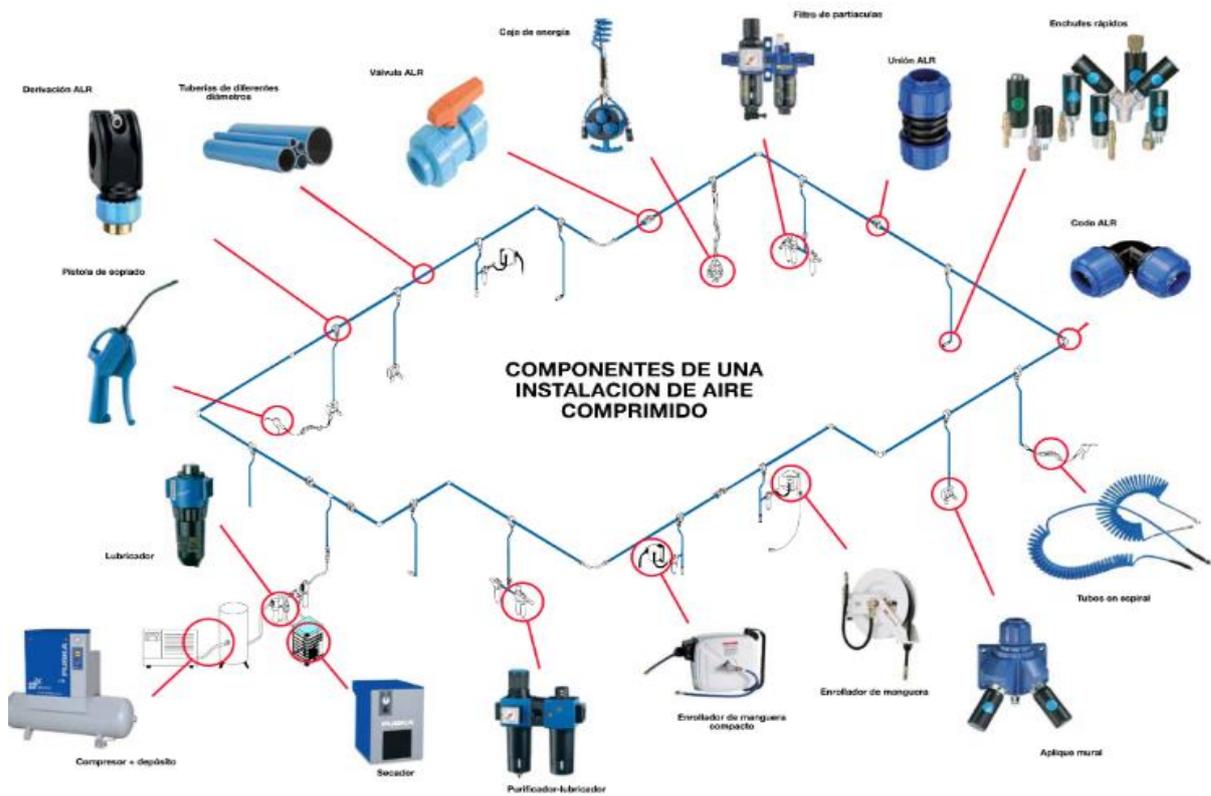


Figura 2. 18 Esquema de red de aire comprimido con dispositivos y accesorios

Fuente: (INTEC, 2018)

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de éstos. El cálculo del diámetro del tubo se efectúa teniendo en cuenta el caudal deseado y la longitud necesaria de canalización principal.

El tamaño de la canalización principal debe ser suficientemente grande para responder a las futuras ampliaciones y evitar las pérdidas de carga. La canalización primaria debe estar fijada con una inclinación del 1 a 3 % para evacuar los condensados hacia los puntos bajos (purgas).

Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En muchos casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques.

2.4.2 Tipos de red de aire comprimido

Existen dos configuraciones de una red de aire comprimido.

2.4.2.1 Red de aire comprimido Cerrada

En esta configuración la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella se facilitan las tareas de mantenimiento de manera importante, puesto que ciertas partes pueden ser aisladas sin afectar a la producción.

La figura 2.19 muestra una instalación de aire comprimido (ductería color azul) tipo cerrada.

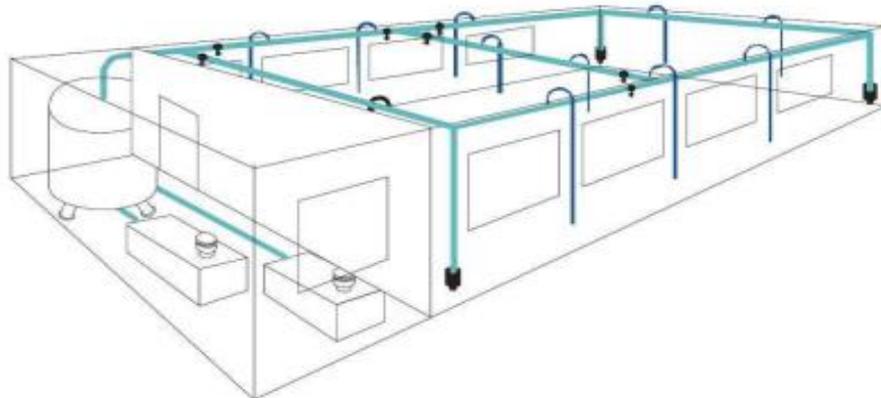


Figura 2. 19 Ductería en red de aire comprimido tipo cerrada

Fuente: (Anónimo, s.f.)

Este tipo de red tiene presenta menores caídas de presión del aire comprimido. En la red de aire comprimido tipo cerrada, la dirección del flujo

en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo.

El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (ej. Filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría. La figura 2.20 muestra una instalación tipo cerrada con accesorios y dispositivos para tratamiento del aire comprimido.

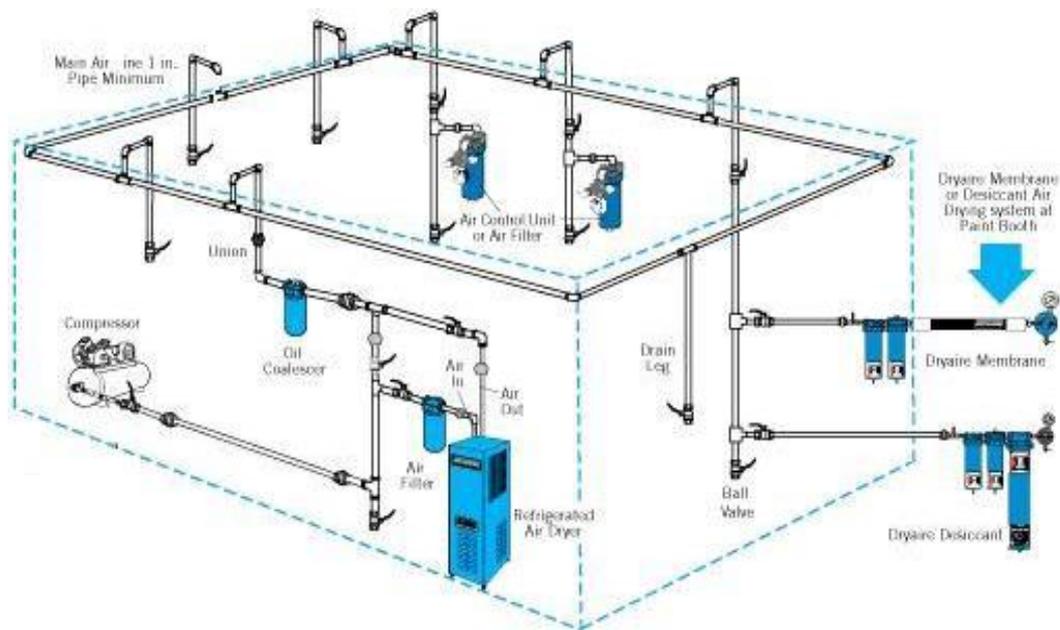


Figura 2. 20 Instalación de aire comprimido tipo cerrada

Fuente: (Cassani, 2011)

El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (Filtros, Enfriadores etc.) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría. (Cassani, 2011).

2.4.2.2 Red de aire comprimido Abierta

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden

implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados. La desventaja principal de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante la necesidad de una reparación es posible que se detenga el suministro de aire “aguas abajo” del punto de corte lo que implica una parada en el suministro de aire a la producción. Otra desventaja a tener en cuenta es que este tipo de distribución provoca grandes pérdidas de carga.

La figura 2.20 muestra solo la ductería de la red de aire comprimido tipo abierta o también llamada red de línea ‘muerta’.

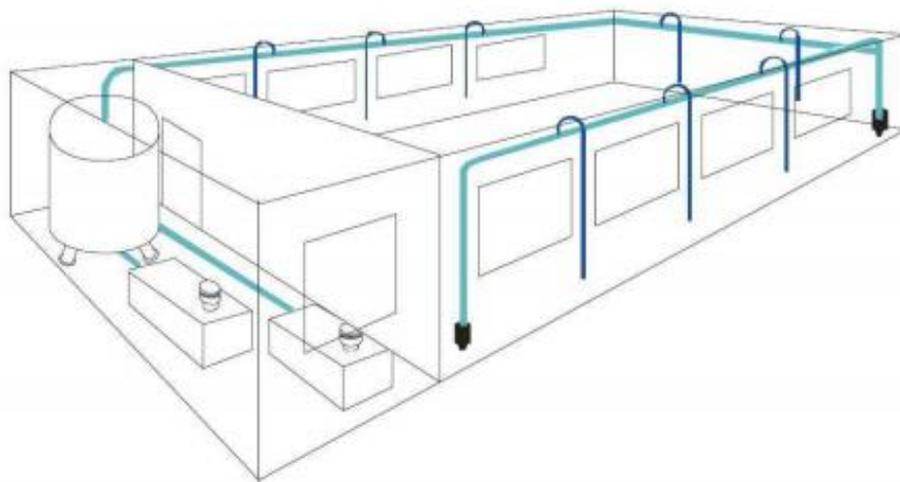


Figura 2. 21 Ductería (color azul) en red abierta o línea ‘muerta’

Fuente: (Anónimo, s.f.)

Como se aprecia en la figura 2.21 este tipo de red se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio. Este tipo de distribución de aire favorece el drenaje.

La figura 2.22 muestra la red de aire tipo abierta con accesorio y dispositivos para tratamiento del aire comprimido.

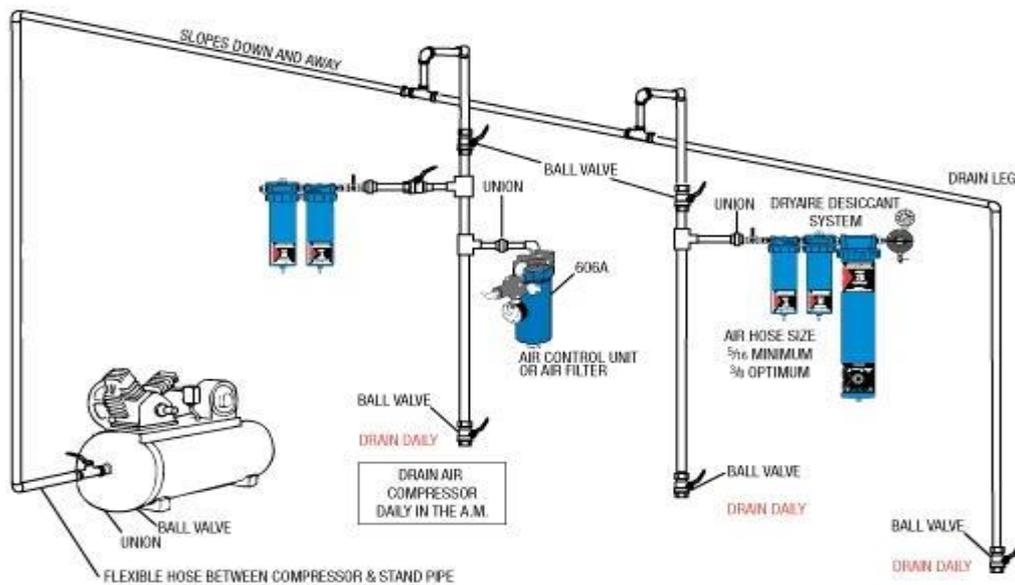


Figura 2. 22 Red aire comprimido abierta

Fuente: (Cassani, 2011)

Red interconectada: Esta configuración es igual a la cerrada, pero con la implementación de bypass entre las líneas principales. Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento, pero requiere la inversión inicial más alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada. Véase en figura 2.23 un esquema de red interconectada

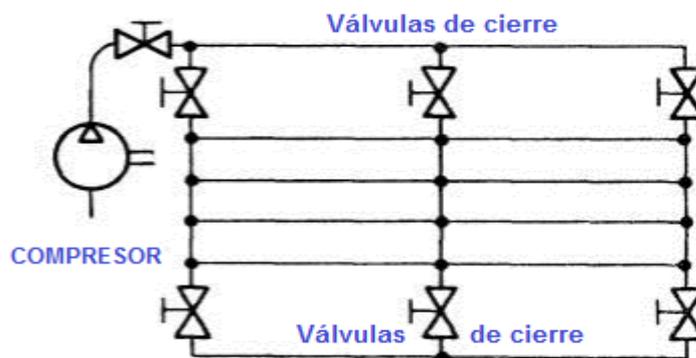


Figura 2. 23 Red de aire comprimido tipo interconectada

Fuente: el autor

En la red interconectada hay un circuito cerrado que permite trabajar en cualquier sistema de la planta con aire, mediante las conexiones longitudinales y transversales de la instalación de aire comprimido. Ciertas tuberías de aire comprimido pueden ser bloqueadas mediante válvulas de cierre (correderas) si hay que separarlas para efectuar reparaciones y trabajos de mantenimiento. También existe la posibilidad de comprobar faltas de estanqueidad.

Así también al desarrollar el proceso de diseño de una instalación de aire comprimido se deben saber todas las aplicaciones que se usarán y su ubicación. Puntos importantes a tener en cuenta:

Presión de aire comprimido: Se debe calcular la presión a la cual se desea trabajar para establecer el buen funcionamiento del compresor y red. Generalmente la red de trabajo industrial de aire comprimido tienen presiones de 6 a 7 bar.

- **Caudal de aire comprimido:** El caudal de la red deberá ser diseñado con base en la demanda de aire y las expectativas de crecimiento futuro.
- **Pérdidas de presión:** Los elementos de una red de aire comprimido como codos, válvulas, Ts, cambios de sección, equipos de mantenimiento, y otras se oponen al flujo generando pérdidas de presión de aire. Garantizar que las pérdidas estén en lo permisible es una labor esencial a la hora de desarrollar el diseño. Piense cuanto le costara cada bar de sobrepresión a su sistema. Estas deberían ser inferior al 5%.
- **Velocidad de circulación de aire:** La velocidad debe controlarse puesto que el aumento produce mayores pérdidas de presión. Esta no debe ser superior a los 6 m/seg en los ramales troncales ni superior a los 10 m/seg en las derivaciones a las maquinas

2.5 La centralización o descentralización de la red de aire comprimido

La cuestión de montar una sola estación de aire comprimido o varias estaciones satélites surge cuando hemos de llevar a algún punto de la planta una presión muy elevada, o cuando existen grandes distancias de unos puntos de consumos a otros, en cuyo caso sería muy recomendable usar estaciones satélites para estas zonas debido a sus elevadas demandas de aire o grandes distancias. Si por lo contrario toda nuestra planta posee puntos de consumos con presiones equiparables o están todos estos puntos cercanos entre sí, sería más recomendable montar solamente una estación y centralizar así el suministro de aire comprimido de la planta. Las ventajas de una configuración de la red centralizada serían:

- Unidades compresión de mayor potencia, lo que supone menor coste de electricidad y mejor potencia específica
- Menor gasto inicial que unidades más pequeñas de caudal proporcional Menor tiempo de mantenimiento
- Menor inversión en comunicaciones
- Menor espacio necesario al centralizar los equipos.

Pero la centralización también conlleva inconvenientes:

- Un solo nivel de presión máximo, es decir si dimensionamos la red para una presión máxima de 10 bar no podremos suministrar más de esto en ningún consumidor y puede darse el caso de que sea necesario en alguna ocasión.
- Ineficiencia por requerimientos de baja presión, es decir si necesitamos 3 bar en algún consumidor y la red está dimensionada a 10 bar, estamos desperdiciando mucha potencia

Como consecuencia directa de los inconvenientes que supone la centralización de la producción del aire comprimido surge la necesidad de crear estaciones satélites o descentralizar el sistema; cuyas ventajas pueden enumerarse en:

- Menor inversión en la red de distribución
- Menores pérdidas de carga en las tuberías, ahorro de potencia en los compresores
- Independencia de sistemas

2.6 Configuración del compresor en instalaciones de aire comprimido

Existen varias técnicas a la hora de diseñar una instalación de aire comprimido. A continuación, se indican posibles configuraciones de los compresores.

2.6.1 Configuración tres compresores:

Esta configuración consiste en la utilización de 3 compresores para satisfacer la demanda de aire comprimido, dos de ellos trabajarán al 50% y el tercero estará en reserva. Véase la figura 2.124

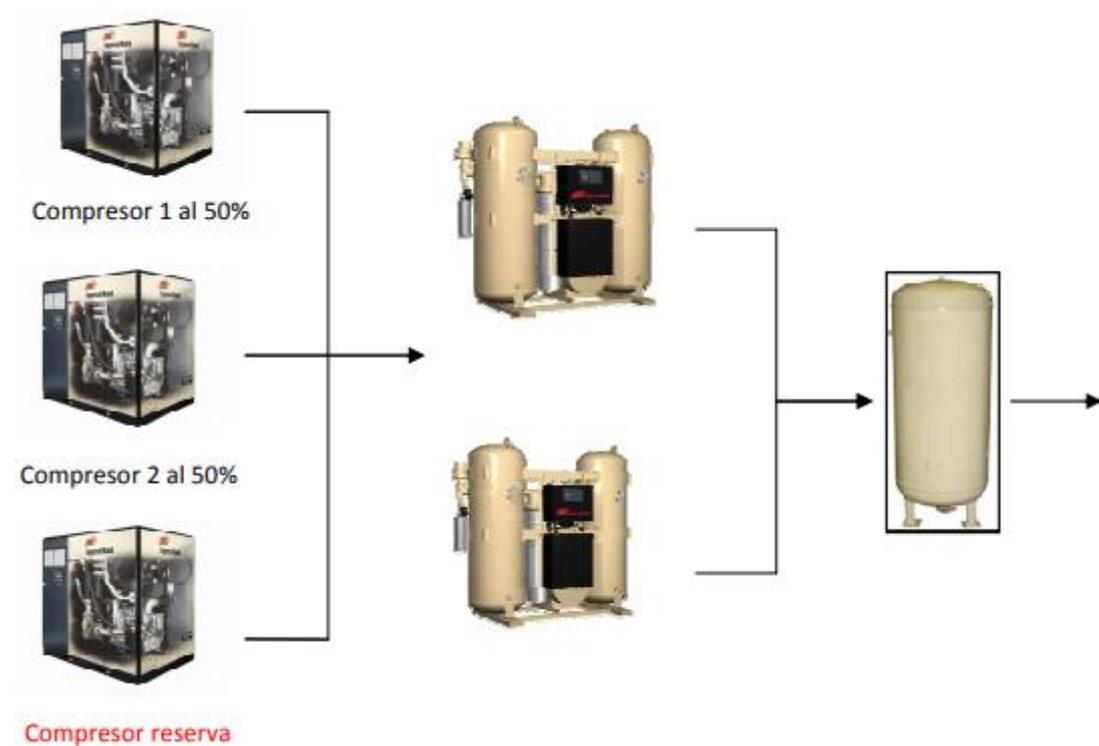


Figura 2. 24. Configuración de 3 compresores con 2 al 50%

Fuente: (Cassani, 2011)

Este tipo de configuración tiene como ventajas:

- Ahorro energético: Esta configuración es típica de plantas en las que el consumo de aire es variable según la época del año o producción de la misma.
- Menor probabilidad de que la planta se quede completamente sin aire, ya que tenemos 3 máquinas para cubrir las necesidades de la planta. Entre los inconvenientes cabe destacar:
- Inversión inicial: La inversión inicial en la adquisición de compresores será entre un 13% y un 15%.

2.6.2 Configuración 2 compresores

Consiste en la utilización de dos compresores para cubrir las necesidades de la planta. En este caso los dos compresores trabajan al 100%, pero mientras un compresor trabaja al 100% el otro está de reserva y viceversa.

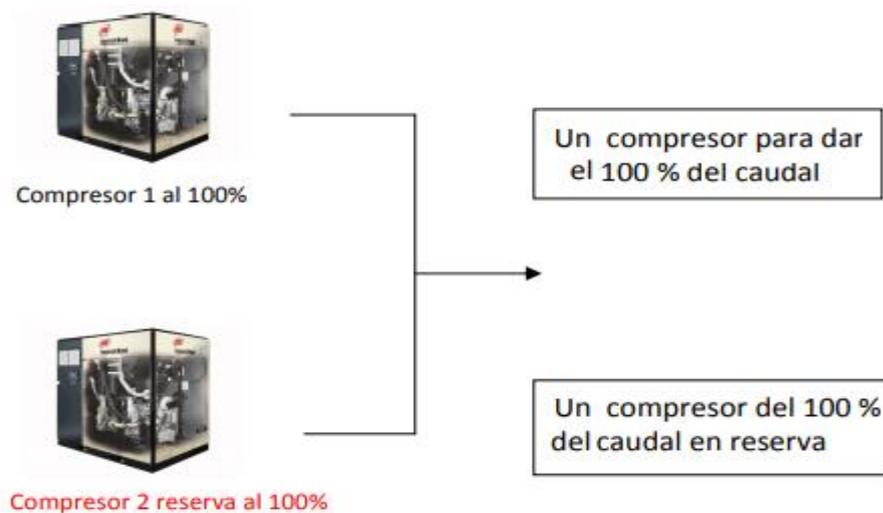


Figura 2. 25 Configuración 2 compresores

Fuente: (Cassani, 2011)

Entre las ventajas de esta configuración encontramos:

- Inversión inicial: La inversión inicial en la adquisición de compresores es menor

- Mantenimiento: menor costes de las máquinas ya que sólo son dos sobre las que hay que intervenir
- Espacio: Menor necesidad de espacio en la instalación
- Mayor eficiencia energética: Compresores de mayor tamaño al estar ambos dimensionados para los 100%, motores más eficientes.

El principal inconveniente en este tipo de configuración 2x100% es que si existiera un fallo en uno de los compresores el otro estaría trabajando continuamente al 100%, y en caso de doble fallo o avería no podríamos suministrar aire comprimido a la planta, lo que conllevaría un paro total de esta ya que el aire de instrumentos es vital para el funcionamiento de números equipos entre los que cabe destacar las turbinas o calderas.

2.6.3 Sobredimensionamiento del compresor

El sobredimensionar los compresores de aire es extremadamente ineficiente, porque la mayoría de los sistemas, operando a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuenciador de arranque, permitiendo así una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, y si existen problemas de capacidad, una alternativa, antes de añadir otro compresor, es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o, tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados.

Otra forma efectiva de diseñar y operar apropiadamente un sistema de aire comprimido es evaluar su perfil de carga. Las variaciones de demanda durante el tiempo total de uso del aire comprimido es una de las principales consideraciones cuando se diseña un sistema de esta índole.

Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciadores de arranque, pueden operar el sistema de forma más económica. En cambio, en plantas con un perfil de carga con pocas o nulas variaciones, se pueden utilizar estrategias de control simples.

Por otro lado, los usos inapropiados dan lugar a una demanda artificial ya que requieren de un exceso en el volumen de aire y, por consecuencia, una mayor presión que el requerido por las propias aplicaciones. El uso de controladores de flujo puede ayudar a minimizar esta demanda artificial.

2.6.3.1 Nivel de presión requerido

El nivel de presión del sistema debe ser definido a través de los requerimientos de presión de cada una de las herramientas que normalmente han sido probadas por sus fabricantes a dichas presiones. En cambio, las presiones requeridas por los diferentes procesos deben ser especificadas por el ingeniero de proceso. Con ambos requerimientos se puede definir el nivel de presión del sistema, no olvidando que a mayor nivel de presión el sistema será más costoso, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

Por otro lado, cuando se defina el nivel de presión del sistema, se deben de tomar en cuenta las pérdidas del sistema a través de las tuberías y accesorios de los equipos adicionales, como secadores, separadores, filtros, etc.

El aire comprimido seco es muy importante para el funcionamiento de un sistema de aire comprimido. Al tener agua libre en las tuberías, se forma óxido en las superficies internas de las tuberías de hierro, que se mezclan con la suciedad, el agua y el lubricante para formar un lío negro y pegajoso que puede desplazarse hacia el vapor y contaminar sus herramientas y maquinaria.

Por esta razón, es aconsejable vigilar el punto de rocío del aire comprimido. Mantener el punto de rocío del aire comprimido, la temperatura a la cual se formará la humedad, muy por debajo de la temperatura más fría a la que se expondrá la tubería, puede eliminar la condensación del agua en las tuberías.

2.6.3.2 Aire comprimido caliente

Uno de los subproductos de la creación de aire comprimido es el calor, y mucho. Este calor es emitido por los compresores y los secadores de aire, y debe eliminarse de la sala del compresor o se producirán consecuencias desagradables.

Un problema muy común con los compresores enfriados por aire es suponer que el aire caliente expulsado de la descarga de refrigeración de alguna manera se alejará de la admisión de refrigeración del compresor. En muchos casos, no se proporciona ningún conducto para desviar el aire caliente, o en algunos casos el conducto está incompleto. Esto suele ser un error.

Es sorprendente encontrar a menudo que el aire caliente descargado es muy difícil de mezclar con el aire de ventilación más fresco. No quiere hacer esto naturalmente. El aire descargado desde el compresor lógicamente debería subir a la parte superior de la habitación, con aire más frío entrando en las rejillas de descarga de la entrada inferior, pero a menudo esto no sucede. La consecuencia es que el compresor ingiere aire de refrigeración que es mucho más caliente de lo deseado a través de un bypass de cortocircuito no deseado del aire de descarga.

Si se toma aire caliente para enfriar, el compresor se sobrecalienta y descarga aire comprimido muy caliente. Este aire comprimido muy caliente contiene más humedad de lo normal y causa una sobrecarga del secador de aire, especialmente si el secador debe enfriarse con el mismo aire caliente. Una secadora sobrecargada permite que el aire comprimido húmedo ingrese a la planta que se condensa dentro de las tuberías de distribución

causando contaminación. Para tratar de eliminar esta contaminación, el personal de la planta a menudo abre los desagües para intentar limpiar las líneas, cargar más el compresor, hacer que la habitación sea más caliente y agravar el problema.

Siempre que sea posible, envíe directamente el aire de descarga del compresor caliente a través de un conducto bien sellado y aislado que sale de la habitación. Eliminar el calor radiante proporcionando ventilación cruzada adicional. Un sistema de ventilación bien diseñado le ahorrará problemas de sobrecalentamiento y tal vez dirija el aire caliente a las áreas de la planta que necesitan calor, lo que le ahorrará dinero en el invierno.

2.7 Secadores de aire

En los sistemas neumáticos, los compresores absorben el aire ambiente que siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua. El proceso de comprimir aire a alrededor de 100 psi eleva la temperatura del aire, pero también el punto de rocío y la capacidad de retención de agua. Cualquier enfriamiento subsiguiente aguas abajo causará que se condense algo de vapor de agua. El agua líquida en los sistemas neumáticos crea problemas como la corrosión y el crecimiento de bacterias, lo que, a su vez, conduce a controles lentos o averías de componentes. Por lo tanto, los secadores de aire a menudo son necesarios para mitigar los problemas del agua.

En un sistema típico, el aire fluye desde el compresor a un posenfriador que baja la temperatura, causa condensación y elimina la mayor parte del agua. A veces se instalan filtros coalescentes para eliminar el agua adicional. Pero si un circuito requiere un tratamiento adicional, los secadores de aire son una necesidad. Eliminan la mayor parte o toda el agua del aire comprimido antes de que alcance componentes o procesos críticos. Aquí hay una mirada a los principales tipos.



Figura 2. 26 Secador desecante de calor de compresión

Fuente: (Instrumentación Industrial , 2008)

Los secadores de aire refrigerados eliminan el agua al enfriar la temperatura del aire comprimido y causar condensación. Un separador de humedad interno recoge el agua líquida y la envía a un desagüe. Los secadores refrigerados generalmente generan aire con puntos de rocío de presión entre 35 y 40 ° F. Se suelen usar en operaciones generales de la planta. Es posible que no sean adecuados para procesos más críticos que requieren aire extremadamente seco, y no están diseñados para circuitos que observan temperaturas de congelación.

Los secadores refrigerados se consideran bastante económicos para comprar y operar. Se clasifican en dos categorías, ciclismo y no ciclismo. Como lo indican los nombres, un tipo se ejecuta de forma intermitente y el otro se ejecuta de forma continua. Los usuarios deben considerar secar en bicicleta, que solo se encienden para satisfacer la demanda, y así reducir el consumo de electricidad y los costos de energía.

Los secadores de aire desecantes funcionan según un principio diferente: absorben la humedad de la corriente de aire y sobre un material desecante en un proceso reversible. Producen bajos puntos de rocío, por lo que son una buena opción en condiciones de sub-congelamiento o cuando los procesos requieren aire extremadamente seco. Dos tipos son sin calor y calentados.

Los secadores desecantes sin calor alojan un material desecante en dos tanques adyacentes, llamados torre de secado y torre de regeneración. El aire comprimido cargado de humedad fluye hacia la torre de secado, donde pasa por encima y se une al desecante poroso. El aire extremadamente seco, con puntos de rocío de presión de -40 a -100 ° F, sale de la secadora.

Este proceso de adsorción también genera calor, generalmente elevando la temperatura del aire hasta 20 ° F. Para eliminar el agua del desecante, aproximadamente el 15% del aire seco de la primera torre se transporta a la segunda torre de regeneración. Allí, el aire comprimido seco se expande a la presión atmosférica a medida que viaja a través del desecante y extrae el agua del desecante, ayudado por la mayor temperatura del aire debido al calor de la adsorción. El aire húmedo se descarga del sistema. Los secadores realizan ciclos entre las operaciones de secado y regeneración a intervalos regulares, por lo que una torre siempre seca el aire entrante.

Los secadores desecantes con calefacción, como su nombre lo indica, tienen un calentador en el circuito. Al igual que la versión sin calor, el desecante en una torre elimina la humedad del aire que fluye. Los puntos de rocío de presión resultantes pueden variar de -40 a -100 ° F. Una segunda torre regenera el desecante gastado. Las válvulas desvían aproximadamente el 8% del aire que sale de la torre de secado y lo pasan a través de un calentador. Este aire caliente y seco luego pasa sobre el desecante en la torre de regeneración, liberando la humedad capturada previamente. El aire húmedo luego se descarga, generalmente a través de un silenciador, hacia el exterior.

Al sopesar las virtudes de los secadores de aire desecantes sin calor en comparación con los calentadores de aire, tenga en cuenta los aspectos económicos. El costo de generar aire comprimido puede ser considerable, y los secadores calientes utilizan aproximadamente un 50% menos de aire comprimido para la regeneración. Por otro lado, los calentadores pueden

requerir mucha electricidad. Por lo tanto, los usuarios deben revisar los detalles específicos de una aplicación para determinar qué tipo cuesta menos operar.

Un tipo relacionado de secador desecante es el secador de calor de compresión. Estas son versiones especiales de secadores desecantes que reutilizan el calor generado por los compresores de aire sin aceite y son altamente eficientes energéticamente. En los secadores HOC, el aire caliente a alta presión (a menudo por encima de los 300 ° F) de un compresor primero viaja a la torre de regeneración y libera la humedad del desecante. Luego, el flujo sale y pasa a través de un pos-enfriador, reduciendo la temperatura del aire a aproximadamente 100 ° F y eliminando un poco de agua. Luego, el aire frío corre a través de la torre de secado y sale con puntos de rocío de aproximadamente -40 ° F.

Los secadores HOC combinados con compresores sin aceite generan aire comprimido de alta calidad, sin agua ni aceite, y son adecuados para aplicaciones de alimentos, bebidas y productos farmacéuticos. Los secadores HOC cuestan más por adelantado, en comparación con los secadores desecantes refrigerados y convencionales. Sin embargo, debido a que son alimentados por el calor residual del compresor, los costos operacionales de los secadores HOC son mínimos.



Figura 2. 27 Secador de refrigeración para caudales a 14.3 m³/min.

Fuente: (Mundo Compresor, 2019)

Los secadores de aire de membrana dependen de la permeabilidad selectiva de los materiales de membrana especialmente diseñados y de las diferencias de presión dentro del secador. Pequeñas moléculas de agua en el aire pueden pasar a través de poros microscópicos en la membrana; Las moléculas más grandes de nitrógeno y oxígeno no pueden.

Un secador consiste en un recipiente cilíndrico lleno de un haz de tubos de membrana huecos. En acción, el aire comprimido no tratado entra en la secadora y fluye a través de los tubos. Además, el volumen fuera de los tubos, pero dentro del propio recipiente, está a la presión atmosférica, creando un diferencial de presión a través de las paredes del tubo. El aire de entrada pasa a través de los tubos y el diferencial de presión permite que solo las moléculas de agua pasen a través de la membrana, y el aire seco sale de la unidad.

Un porcentaje de aire de "purga" seco (generalmente del 10 al 20%) recircula fuera de los tubos y elimina el vapor de agua. Dependiendo del

diseño, los puntos de rocío de presión pueden variar desde alrededor de 40 ° a tan solo -40 ° F.

Los secadores de aire de membrana son compactos, livianos, no requieren potencia y no tienen partes móviles, por lo que cuestan poco para operar y no requieren mantenimiento de rutina. Estas unidades a menudo se recomiendan para aplicaciones de punto de uso, cerca de peligros eléctricos o explosivos, y en ubicaciones remotas.

Con cualquier tipo de secador, los expertos recomiendan montar filtros estándar y coalescentes aguas arriba. Eso evita que las partículas, el aceite y el agua líquida ingresen a la secadora, mantiene una alta eficiencia y ayuda a garantizar una larga vida útil.

Otra recomendación es no especificar demasiado un secador. Operar cada parte de un sistema de aire comprimido al punto de rocío más bajo posible rara vez es necesario, es costoso y casi siempre es un desperdicio. Por otro lado, no escatime en el secado y especifique un punto de rocío demasiado alto. El daño del agua en un sistema es igualmente costoso. Los expertos dicen que los usuarios solo deben suministrar el grado de sequedad necesario para cada aplicación, especialmente cuando varía según el proceso o la máquina. Y, como cualquier sistema, tenga en cuenta los costos iniciales y operativos, las tasas de flujo y las capacidades de rendimiento al especificar una secadora.

CAPÍTULO 3:

LA NEUMÁTICA DIGITALIZADA

Los mundos real y virtual continúan estrechando sus lazos y las modernas tecnologías de la información y la comunicación se unen con los procesos industriales para modificar de esta forma, cada vez más, el panorama de la producción. La Industria 4.0 agrupa diversas actividades bajo una misma denominación y describe el cambio que impone nuevas condiciones en muchas áreas en cuanto a sistemas de producción, máquinas y personas.

Los equipos neumáticos como válvulas, compresores y cilindros se suministran cada vez más con capacidades integradas de detección digital, redes, computación y control. Los avances en hardware y software que sustentan este desarrollo de sistemas ciberfísicos. Estos dispositivos en red que combinan software y elementos físicos son una de las innovaciones que marcan el comienzo del paradigma de Industria 4.0.

La digitalización en el contexto de Industria 4.0 modificará el mundo de la producción de forma significativa. A través de la fusión inteligente de la mecánica, la electrónica y el software se convierten en un "sistema ciberfísico".

Los sistemas ciberfísicos (CPS) forman la base técnica de la cuarta revolución industrial. Como sistemas con capacidad de comunicación, permiten usar nuevas funciones, servicios y características en la interacción "socio-técnica" del ser humano y la tecnología. Forman un puente entre el mundo físico que nos rodea y el mundo digital. Su flexibilidad y capacidad de adaptación a los procesos de desarrollo de máquinas y procesos del presente abren nuevas vías para la estandarización, flexibilización y la rentabilidad.

3.1 Características de la industria 4.0

El nombre Industria 4.0 representa la cuarta revolución industrial, siendo la potencia de vapor la primera, la producción en masa con electricidad la

segunda, y los procesos en cadena, la implementación de sistemas automatizados y el uso de nuevas tecnologías para la comunicación, la tercera revolución para mejorar la fabricación

Las principales características son:

- **Conexión vertical en forma de red:** Permite la interconexión entre máquinas y trabajadores, directivos, desarrolladores, proveedores, clientes y hasta con el propio producto una vez vendido.
- **Virtualización:** Medición en tiempo real de la planta lo cual es permitido por medio de sensores, esto permite crear modelos de simulación, lo cual ayuda a futuros análisis.
- **Descentralización:** La toma de decisiones es ejecutada por los Sistemas Ciberfísicos (CPS), lo cual es ayudada por modelos Predictivos y aplicaciones para la Toma de Decisiones.
- **Reacción en tiempo real:** La captura de la información, su procesado y las decisiones tomadas al respecto se realizan en tiempo real.
- **Orientación al cliente:** La arquitectura de la Industria 4.0 está diseñada para establecer un feedback directo entre el usuario, el producto y el fabricante del mismo.
- **Modularidad:** En un mercado tan cambiante, las fábricas deben adaptarse a dichos cambios que se producen en el mercado de forma rápida y eficiente.
- **Analítica avanzada:** Mejorar y optimizar programas y procesos de producción es una parte vital dentro de cualquier empresa que quiera mantener un nivel alto de productividad y eficiencia. Estos análisis permiten una mayor agilidad en la cadena de producción y evitando de esta forma los cuellos de botella.

3.2 Industria Inteligente

El término de “Industria 4.0” o también conocida como (Industria Inteligente), inicio en Alemania el cual fue utilizado para describir la tendencia de la automatización y el intercambio de datos en las tecnologías de fabricación. Principalmente el objetivo de esta revolución es enfatizar de una forma progresiva y adecuada digitalización toda cadena de proceso productivo y de gestión de relación “Clientes – Proveedores”.

En esta nueva etapa, los sensores, las máquinas, los componentes y los sistemas informáticos están conectados a lo largo de la cadena de valor, más allá de los límites de las empresas. Estos sistemas conectados permiten la interacción entre ellos usando ciertos protocolos de comunicación estándar y sistemas para analizar los datos recopilados para así poder prever futuros errores.

De este modo se indica que las tecnologías digitales permiten una vinculación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas), lo cual permite que los dispositivos y sistemas colaboren entre ellos, y a su vez con otros sistemas para así crear la “Industria Inteligente 4.0”. En la figura 3.1 se muestra una analogía de digitalización y a su vez de integración y miniaturización de dispositivos que posee comunicación digital.



Figura 3. 1 Integración y miniaturización de dispositivos neumáticos

Fuente: (FESTO, 2018)

Al igual que los teléfonos inteligentes transformaron el mercado de los terminales de telefonía móvil, A través de la fusión inteligente de la

mecánica, la electrónica y el software, combinado con aplicaciones informáticas (apps), se integra y se simplifica la cadena completa de valor, ya que solo se necesita un hardware.

Para establecer la automatización y el intercambio de datos entre las tecnologías dentro de la Industria 4.0, se debe cumplir tres elementos principales:

- a) El Internet de las Cosas (IoT)
- b) Sistemas Cibernéticos Físicos
- c) Computación en la nube.

3.3 El Internet de las Cosas (IoT)

Los investigadores de mercado de IDC estiman que en 2020 alrededor de 30 mil millones de "cosas" en todo el mundo, como máquinas, automóviles, lavadoras y refrigeradores, se conectarán a través de Internet. Paralelamente a este desarrollo, se está produciendo una auténtica explosión en los volúmenes de datos: el volumen de datos en Internet se duplica cada dos años. (Telekom 2017).



Figura 3. 2 Esquema IIoT con procesos, equipos y personas conectadas

Fuente: (Manufacturing Automation, 2016)

A medida que las empresas adoptan la Industria 4.0, los fabricantes de máquinas han comenzado a agregar más inteligencia predictiva a válvulas, bombas y motores a medida que los usuarios finales exigen más diagnósticos.

Así ya podrá construir en el presente las máquinas inteligentes para el futuro y preparar su máquina de forma única incluso en el campo de la neumática para Industria 4.0.

3.3.1 Internet de las Cosas Industrial

IloT es una abreviatura de Industrial Internet of Things y es diferente de IoT (Internet of Things). IoT permite que un dispositivo inteligente se conecte o se comunice con otros dispositivos a través de Internet. IoT se trata principalmente de bienes de consumo, como automóviles o electrodomésticos, que envían y reciben datos a través de Internet para brindar beneficios a los usuarios.

IloT es utilizado para fines como la fabricación, el seguimiento y la gestión de la cadena de suministro. Las industrias de todo el mundo, como la industria aeroespacial, el petróleo y el gas, el transporte, la salud, la energía y la minería, están adoptando cada vez más el IloT para manejar máquinas críticas a través de sofisticados sensores. Pues el IloT utiliza sensores más precisos que el de IoT, ya que las fallas del sistema podrían provocar situaciones de emergencia.

IoT está relacionada con los dispositivos de nivel de consumidor, el riesgo que se origina de la falla es mucho menor en comparación con la falla de IloT. (Pundir, 2017). IloT para la fabricación agrega sensores, captura de datos e inteligencia no solo a los sistemas generales y líneas de producción, sino también a los dispositivos y productos de control de movimiento y automatización individuales dentro de esos sistemas, y el desafío básico es la interoperabilidad.

3.4 Sistemas ciberfísicos

En los sistemas ciberfísicos (CPS), los componentes físicos y de software están profundamente interconectados, cada uno operando en diferentes escalas espaciales y temporales, exhibiendo múltiples y distintas modalidades de comportamiento, e interactuando entre sí en una miríada de formas que cambian con el contexto (US National Science Foundation 2010).

En otras palabras, es integración de dispositivos que se conectan al internet, de redes y procesos físicos. Las computadoras y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, con ciclos de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa (Leisenberg, 2017).

La figura 3.3 muestra un esquema de sistema ciberfísico.



Figura 3. 3 Esquema de sistema ciberfísico

Fuente: (HSS, 2018)

3.5 Computación en la Nube

El Cloud Computing o computación en la nube se encarga que los datos y los programas ya no se alojan en los computadores de hogares u oficinas, sino en un centro de computación en la 'nube'. El operador del centro es responsable de la seguridad y las operaciones, haciendo que la capacidad de cálculo necesaria esté siempre disponible y proporcionando los

programas necesarios, la seguridad de datos y las copias de seguridad. (Híbridos y eléctricos, 2016).

Con todos los datos de fabricación almacenados digitalmente en la nube, las herramientas de administración de producción actuales, como las listas de trabajos y los programas de producción, podrían limitarse a los libros de historia. Todos los datos recopilados durante la producción podrían utilizarse para respaldar el modelo digital.



Figura 3. 4 Aplicaciones y datos alojados en la nube.

(FESTO, 2018)

Utilizando un ejemplo como una celda de mecanizado, esto incluiría parámetros como la velocidad de corte, la velocidad de avance, la velocidad del husillo, la profundidad de corte, el tiempo de ciclo, etc. Datos como este podrían ser útiles para ayudar a futuras mejoras de procesos. Posiblemente, también simplificaría las iteraciones de diseño de último minuto, incluso momentos antes de presionar el botón de inicio, al modificar el modelo digital en la nube.

En la Industria 4.0, las máquinas o instalaciones conectadas también se pueden ver como "ciberfísicas", lo que significa ofrecer una integración

estrecha entre los elementos computacionales y físicos de un sistema, lo que también implica una toma de decisiones potencialmente autónoma.

Componentes para la Automatización Neumática

En el ámbito de la automatización neumática, los componentes que respetan los cánones de la Industria 4.0 están destinados principalmente a permitir el monitoreo inteligente y el mantenimiento predictivo. Por monitoreo inteligente se entiende el control constante de los rendimientos de todos los componentes que constituyen una línea automática de producción por parte de uno o varios softwares; este último, mediante el análisis de una serie de datos parametrizados con arreglo a la máxima eficacia del sistema que debe controlarse, envía notificaciones en caso de no conformidad con los estándares indicados, permitiendo intervenciones rápidas y por lo tanto una optimización de la producción.

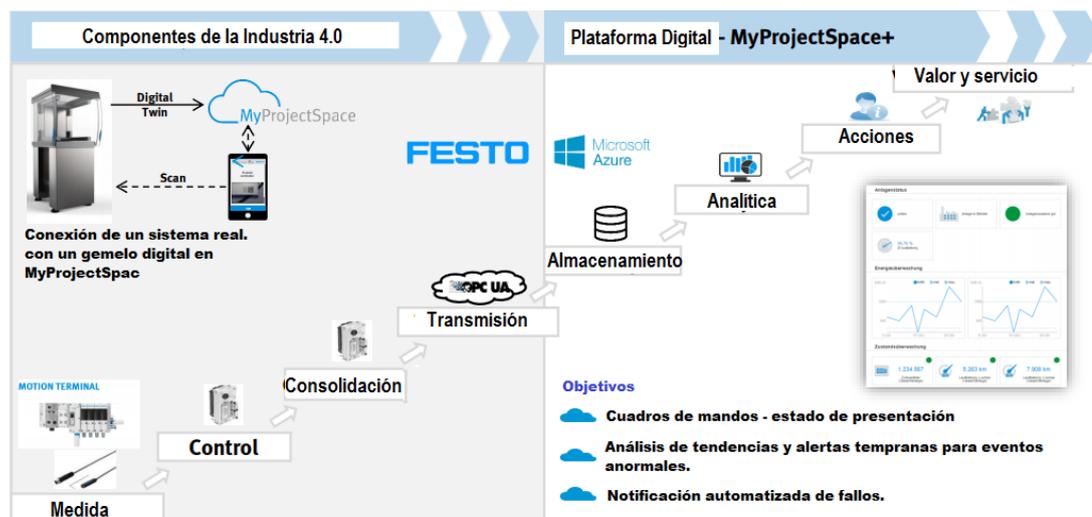


Figura 3. 5 Etapas de producción inteligente con FESTO

Fuente: (FESTO, 2018)

Los fabricantes de componentes para la automatización neumática se están moviendo en dos frentes: adaptando componentes ya de amplio consumo a las nuevas necesidades de aplicación y creando soluciones completamente nuevas. El primer caso tiene que ver con la integración en los componentes ya existentes (cilindros, electroválvulas, tecnologías proporcionales, grupos FRL, etc.), de sensores para la recogida de datos y de sistemas de

comunicación capaces de enviar estos últimos a los sistemas de elaboración, residentes a distancia en ordenadores colocados en un establecimiento de producción o directamente en plataformas de la nube o cloud.

Los sistemas de producción trabajarán integrados digitalmente en red.

- Componentes inteligentes para Plug and Produce con sistema de autorregulación y autocontrol
- El sistema tiene una imagen virtual para una puesta en funcionamiento y una reconfiguración virtual
- Equipos de producción flexible: fabricación rentable desde una unidad, rápido equilibrio de la carga en una red de producción, rápida adaptación a la cartera de pedidos
- Las amplias prestaciones de condiciones de monitoreo evitan paradas, optimizan los procesos de mantenimiento y permiten el mantenimiento móvil.

Las arquitecturas estándar abiertas y continuas aportan a las pequeñas y medianas empresas de fabricación de máquinas y sistemas, así como a los usuarios finales, unos beneficios claramente mayores que los conceptos cerrados. Ejemplos:

- Estándar de comunicación OPC-UA
- Arquitectura de referencia RAMI • Modelo de interfaces de gestión
- AML (Automation Markup Language)

La aplicación FESTO MyDashboards muestran, todos los parámetros y datos característicos esenciales de los respectivos productos y subsistemas, y ello sin programación alguna. Gracias a ello, los datos están disponibles en cualquier lugar del mundo y en cualquier momento incluso en terminales móviles

En la figura 3.6 se aprecia el esquema de comunicación de terminal de movimiento CPX/VTEM, módulo de eficiencia energética E2M y sistema de

manipulación compacto que se comunican vía OPC-UA (plataforma de comunicación universal para modelos estándar de información) con un equipo gateway el cual permite a la información almacenarla en la nube (FESTO cloud).

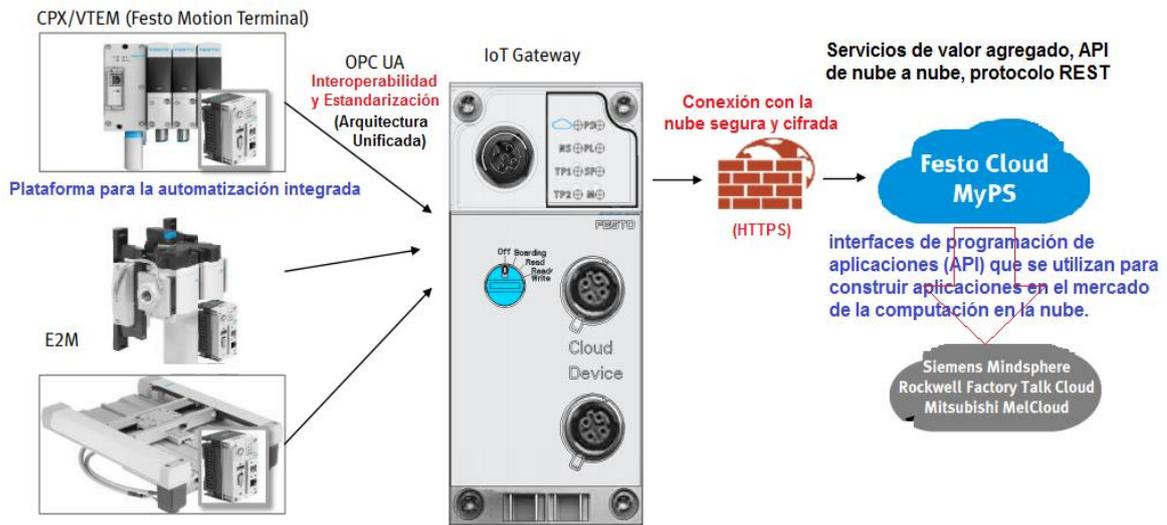


Figura 3. 6 Interfaces física y lógicas de arquitectura FESTO Cloud MyPS

Fuente: (FESTO, 2018)

Con la aplicación FESTO Cloud MyPS, se puede expresar que bajo este esquema se cumplen actividades como:

- (1) El usuario está conectando la puerta de enlace IoT con Intranet, que está conectada a través de NAT con Internet.
- (2) El usuario está cambiando a acceso físico a los datos del dispositivo con interacción humana y confirmación.
- (3) El IoT Gateway luego se conecta con Festo Cloud. Cuando la conexión es por primera vez, representa: Procedimiento de inicio de sesión
- (4) El IoT Gateway utiliza el escaneo de puertos/multidifusión para acceder/encontrar dispositivos con Festo OPC UA Server, si el interruptor giratorio está en Leer o Leer/Escribir.
- (5) El IoT Gateway está suscribiendo variables desde el servidor OPC UA y está enviando eventos a la nube de Festo
- (6) Administración adicional de IoT Gateway a través de la nube.

3.6 Integración de niveles de automatización

La clásica pirámide de automatización rígida dejará de existir en un futuro próximo. FESTO tiene en el mercado europeo los equipos: CPX y Motion Terminal VTEM. Estos terminales CPX, CPX-IoT recopilan información sobre los dispositivos FESTO (actuadores eléctricos y neumáticos, válvulas/terminales de válvulas, terminales I/O, alimentación de aire comprimido, sensores) y sus estados mediante un Ethernet conectado y un protocolo de comunicación estandarizado como, por ejemplo, OPC-UA.

Véase en la figura 3.7 el esquema de la pirámide de automatización basada en Neumática Digitalizada bajo tecnología FESTO.

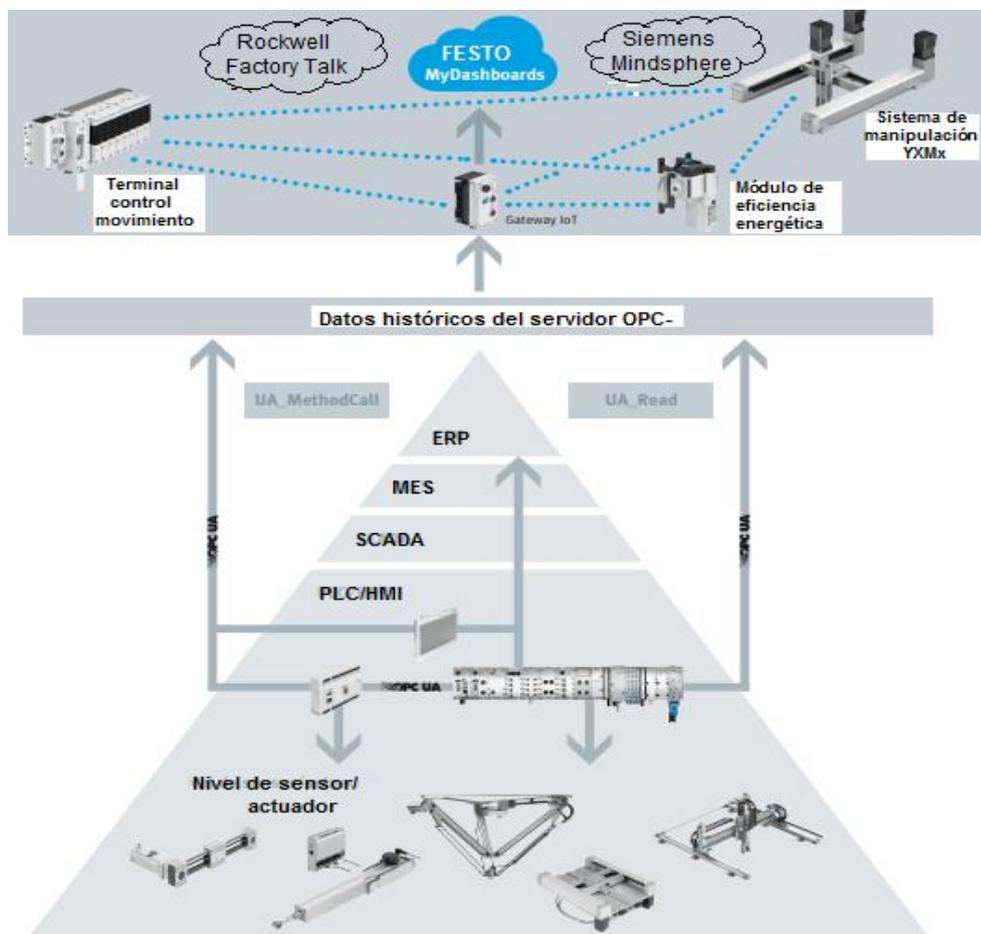


Figura 3. 7 Pirámide de automatización con neumática digitalizada

Fuente: (FESTO, 2018)

Dicha información se envía a la nube a través de una segunda conexión Ethernet con protocolos IoT, tales como AMQP o MQTT. Los mecanismos de seguridad TI adecuados garantizan la seguridad de los datos.

El gateway IoT industrial se basa en un equipo que permite integración en red gracias a:

- Comunicación universal a través de bus de campo/Ethernet
- Selección de plataformas neumáticas (terminales de válvulas)
- Sistemas de instalación descentralizada de nivel inferior CPI, IO-Link o I-port.

La figura 3.8 muestra la comunicación con bus de campo digital que emplean los equipos industriales con conectividad.

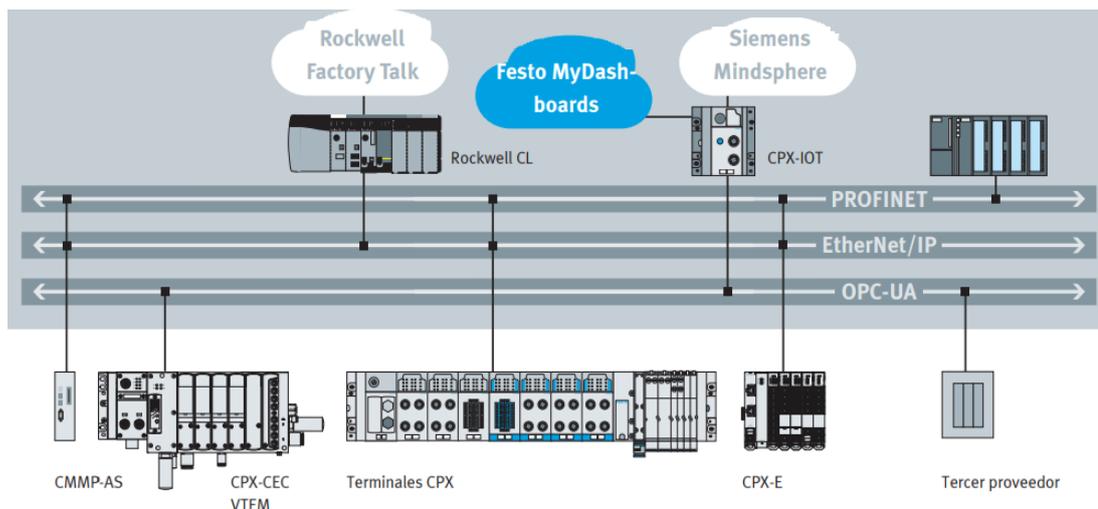


Figura 3. 8 Bus de campo digital con equipos FESTO

Fuente: (FESTO, 2018)

El gateway o terminal CPX-IOT establece autónomamente una conexión con la nube de Festo. Con el primer establecimiento de conexión o la primera puesta en funcionamiento tiene lugar un proceso de inicio de sesión definido.

La administración del gateway también se puede realizar mediante acceso remoto a través de la nube. Véase la figura 3.9

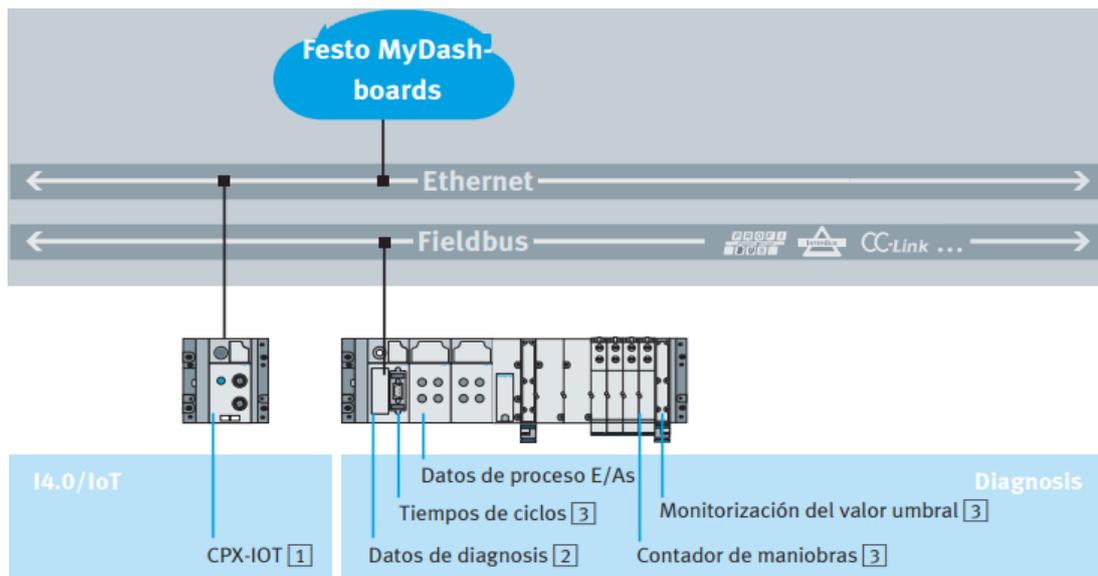


Figura 3. 9 Terminal gateway o equipo que conecta procesos industriales con el internet

Fuente: (FESTO, 2018)

A continuación, se detalla la figura 3.9

1. El gateway CPX-IOT se puede conectar mediante el cable CPXMMI a cualquier CPX instalado o nuevo. Así, todos los datos quedan accesibles y se pueden transferir a una nube. De ese modo se pueden reequipar todos los nodos de bus de campo CPX instalados in situ.

2. Categorías de datos

- Asset Data/datos fijos de la instalación
- Datos de diagnosis
- Datos de proceso (E/As)
- Datos de parámetros
- Smart Data/datos “inteligentes” tales como contadores de maniobras, temporizadores, UTC (en todo el mundo), perfiles de desplazamiento/discos de levas.

3. Información opcional:

- Tiempos de ciclos
- Información de ciclo de vida
- Contadores de maniobras por cada válvula con monitorización del valor umbral
- Sistema de advertencia temprana en caso de discrepancias
- Pedido automático de piezas de repuesto

3.6.1 Integración de entornos IoT de Siemens MindSphere y Rockwell Factory Talk

MindSphere es un sistema operativo IoT de Siemens abierto y basado en la nube que permite a las máquinas e infraestructuras físicas conectarse al mundo digital. Con él puede utilizar enormes volúmenes de datos de innumerables equipos inteligentes. Además, puede obtener conocimientos revolucionarios sobre toda su empresa y más allá.

1. Conexión con la nube segura y cifrada (HTTPS)
2. Conexión en el nivel de campo para allí recopilar datos vía OPC-UA
3. Conexión con Siemens MindSphere a través de MindConnect LIB
4. Puesta en funcionamiento sencilla por parte del cliente a través de la nube

Estos escenarios propios de la Industria 4.0 ofrecen la posibilidad de analizar y, sobre todo, de combinar distintos datos en MindSphere. Ejemplos:

Datos básicos e información

- Consumo real de aire e indicador de presión en tiempo real
- Detección del modelo de los perfiles de consumo, fuga
- Rango de tolerancias seleccionable para mensajes de error.

Análisis avanzados

1. Monitorización de posición

- Dependiente del tiempo y mediante sensores pQ
- Igualación con el gemelo digital

2. Detección de fuga en cilindro:

- Detección indirecta de la fuga comparando la posición averiguada con la posición real o referenciada
- Detección indirecta de la posición del cilindro a partir de los sensores pQ durante el funcionamiento sin fugas
- Separación en fuga interna y externa

En la figura 3.10 se muestra características de MindSphere de Siemens.

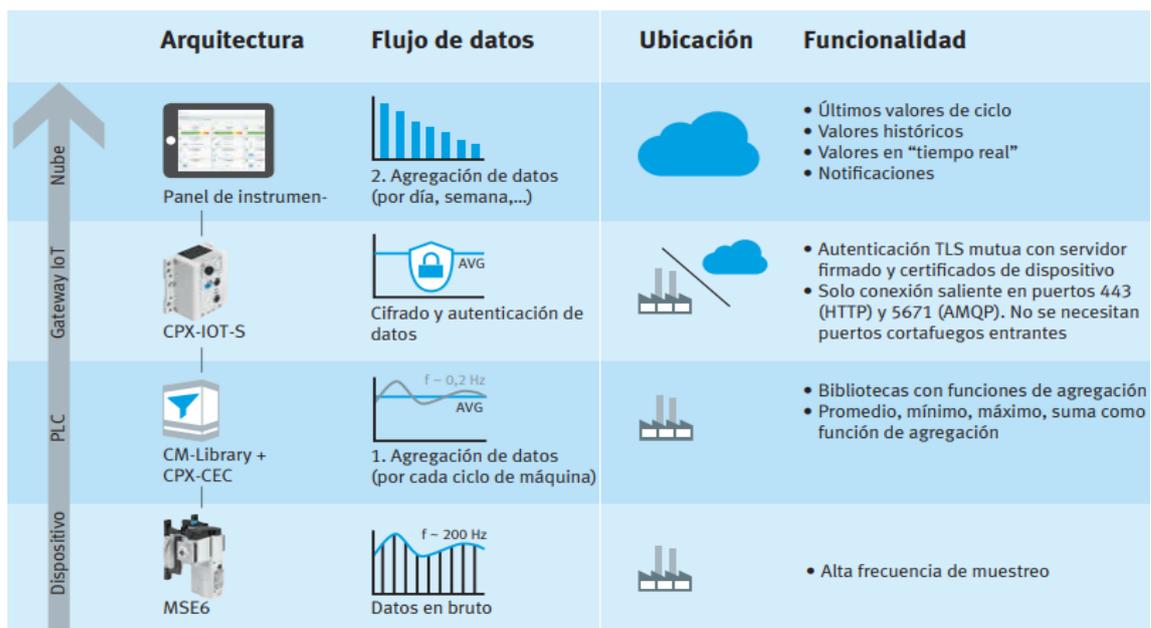


Figura 3. 10 MindSphere de Siemens integrado con hardware FESTO

Fuente: (FESTO, 2018)

De manera esquemática se representa la estructura básica, la condensación de datos y el flujo de datos del producto de Festo hasta Mindsphere de Siemens.

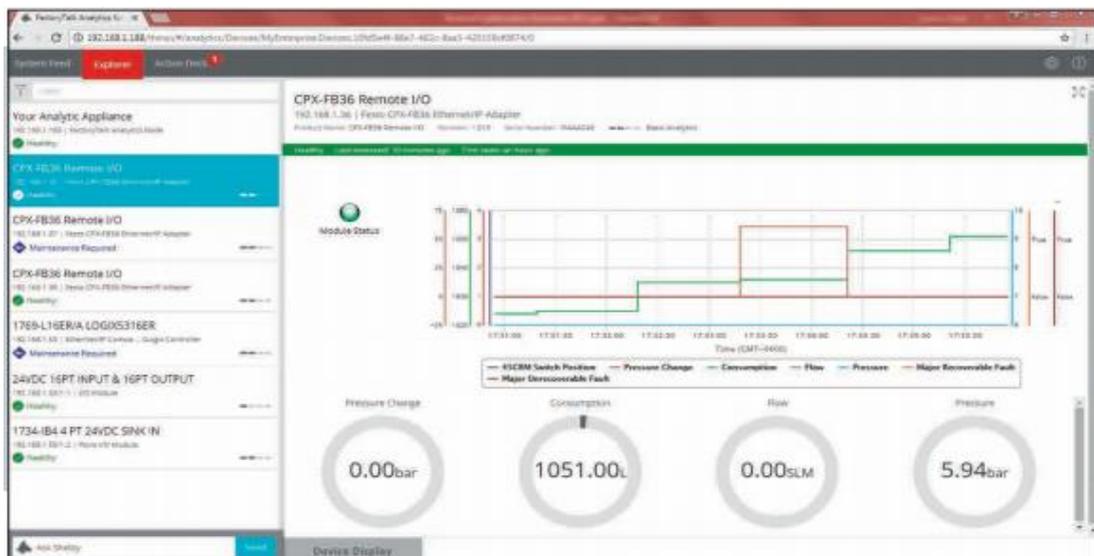


Figura 3. 11 Monitoreo de variables (datos) MindSphere y FESTO

Fuente: (FESTO, 2018)

Así también otro fabricante como Rockwell ofrece dos posibilidades de conectar en red el Internet de las Cosas para equipos, máquinas e instalaciones industriales y aprovechar eficientemente los datos obtenidos: Device Analytics y TeamONE.

Device Analytics y “Shelby Appliance”

Shelby funciona como una especie de caja negra sin necesidad de configuración. De modo parecido al gateway IoT de Festo, escanea todos los equipos conectados y preparados para la comunicación. A continuación, envía sus datos en forma de telegramas a unidades de orden superior, por ejemplo, los llamados Edge Devices o servicios en la nube. Shelby comunica con los equipos cíclicamente (aprox. una vez por minuto), ofrece paneles de instrumentos y también funciones de diagnóstico ampliadas.

TeamONE permite organizar trabajos de mantenimiento preventivo en equipos y visualizar todos los datos de los equipos de una instalación/máquina que son necesarios para dicha tarea. Esto agiliza la corrección de errores. TeamONE se ofrece como aplicación gratuita. La integración de equipos de Festo (como la del resto de terceros proveedores) se realiza mediante un módulo alojado dentro de esta aplicación. Con él se

pueden visualizar todos los valores relevantes de los equipos de Festo, tal como muestran las capturas de pantalla de teléfono móvil que aparecen en la imagen.



Figura 3. 12 Aplicación TeamOne de FESTO en proceso productivo

Fuente: (FESTO, 2018)

Con Festo App World, cualquier producto de Festo se puede actualizar, modificar o combinar con otros servicios en cualquier momento y en cualquier lugar del mundo. Para ello existen distintos tipos de aplicación con numerosas aplicaciones cada uno: servicios en la nube, funciones de software, aplicaciones cercanas a productos y aplicaciones de servicio

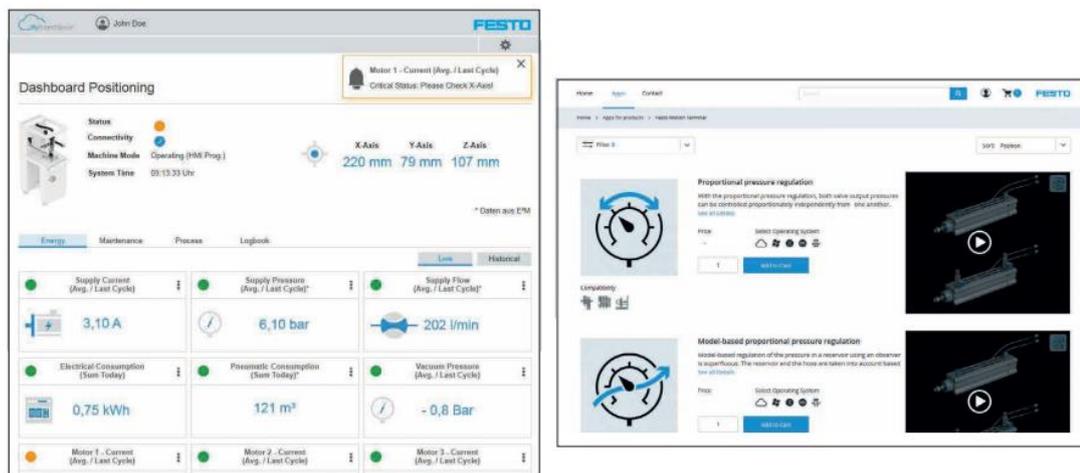


Figura 3. 13 Históricos y registro en tiempo real de proceso productivo

Fuente: (FESTO, 2018)

Servicios en la nube: mayor productividad para constructores de maquinaria y clientes finales En un principio, los conceptos y servicios en la nube del futuro dependen notablemente de la solución elegida, el socio o el proveedor. Así, se produce la elaboración posterior y evaluación a largo plazo de datos en la nube, donde un panel de instrumentos permite visualizar la información obtenida. Festo ayuda a los constructores de maquinaria y usuarios finales a alcanzar una mejor productividad en diferentes pasos. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Visualización sencilla de relaciones complejas en la nube de Festo: en todo el mundo
- Preparación rápida de datos gracias a la función de análisis
- Mayor transparencia, por ejemplo, mediante monitorización de estado en línea
- Optimización de las aplicaciones, mantenimiento preventivo, etc.

CAPÍTULO 4: DIMENSIONAMIENTO DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LABORATORIO DE LA FETD

El aporte del presente trabajo académico contempla dimensionar la eta de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la Facultad de Educción Técnica para el desarrollo FETD de la UCSG.

Se debe indicar que el sistema de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática consistía en 3 compresores de pistón de 1 HP. Desde la salida de cada compresor había un derivador de aire comprimido hacia dos unidades de mantenimiento que están instaladas en los tableros didácticos que posee dicho laboratorio. Véase la figura 4.1



Figura 4. 1 Compresor de aire comprimido

Fuente: (FESTO Didactic, 2019)

Estos compresores son lubricados con aceite, ultra silenciosos (45 dB (A)). Incluye manorreductor y separador de agua, cuyas características son:

- * Presión: 800 KPa (8 bar) Pmax
- * Capacidad de aspiración: 50 l/min
- * Volumen del depósito: 24 litros
- * Salida de aire comprimido: ¼" o KD4
- * Emisión acústica: 45 dB (A)/1m
- * Tiempo de utilización: máx. 50 %
- * Válvula reguladora de presión con manómetro.
- * Ejecución: 120 V/60 Hz con toma de corriente y clavija según NEMA 5-15.

La función de cada uno de estos compresores es la de alimentar con aire comprimido una mesa de trabajo con dos paneles laterales opuestos, hacen prácticas los estudiantes, en las materias de Neumática y Electro-Neumática en la carrera Electrónica en Control y Automatismo. Se debe indicar que de los 3 compresores solo una opera de forma adecuada y dos están fuera de servicio, esta información reposa en el informe técnico por el estado de compresores de dicho laboratorio (anexo 1)

4.1 Maletas de trabajo TP

El laboratorio de Neumática posee equipamiento basado en maletas de trabajo. En cada maleta de trabajo vienen dispositivos para neumática básica e intermedia. Cabe recalcar que todos los dispositivos son de dimensiones y capacidades pequeñas, es decir son tipo didáctico, pues los mismos dispositivos a nivel industrial son más robustos en capacidad y consumo de aire comprimido.

Para calcular el consumo de carga de dispositivos y actuadores (cilindros neumáticos) se toma en cuenta la cantidad de dispositivos que se encuentran en todas las maletas de trabajo. En la tabla 4.1 se muestra el

levantamiento de información referente a las maletas TP FESTO (nomenclatura utilizada por FESTO Didactic).

Tabla 4. 1 Detalle equipamiento FESTO en Laboratorio de Neumática de la FETD

CANTIDAD	EQUIPO/MÓDULO	DESCRIPCIÓN	MARCA
6	TP210	EQUIPO DE FORMACION DE MEDICION Y REGULACION EN NEUMAICA CON FLUID FESTO LAB TP 210 AVANZADA	FESTO
3	TP220	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL AVANZADA EN ACCIONAMIENTO EN NEUMATICA FESTO TP 220	FESTO
6	TP202	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL AVANZADO EN ELECTRONEUMATICA TP 202	FESTO
6	TP102	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL AVANZADO EN NEUMATICO TP 102	FESTO
6	TP240	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL AVANZADO EN SENSORES EN LA NEUMATICA TP FESTO 240	FESTO
6	TP201	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL BASICA EN ELECTRONEUMATICA TP 201	FESTO
6	TP101	EQUIPO DE FORMACION DE NIVEL BASICO EN NEUMATICA TP 101	FESTO
6	TP1311	EQUIPO DE FORMACION DE SENSORES PARA EL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS	FESTO

Nota: elaborado por el autor

A partir de la tabla 4.1 se desglosa en contenido cada maleta TP FESTO, véase la tabla 4.2 (descripción de dispositivos están en color azul, por cuanto tiene hipervínculo con la página web de FESTO).

Tabla 4. 2 Descripción por hipervínculo de componentes de cada maleta TP FESTO

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
6	Válvula de 3/2 vías accionada por pulsador, normalmente cerrada (Nº de artículo 152860)
	Válvula de 3/2 vías accionada por pulsador, normalmente abierta (Nº de artículo 152861)
	Válvula de 5/2 vías con interruptor selector manual (Nº de artículo 152862)
	Válvula de 3/2 vías con interruptor selector, normalmente cerrada (Nº de artículo 152863)
	Válvula de 3/2 vías, accionada por rodillo, normalmente cerrada (Nº de artículo 152866)
	Detector de proximidad neumático, con fijación para cilindro (Nº de artículo

	2764815)
	Temporizador neumático, normalmente cerrado (Nº de artículo 540694)
	Válvula de secuencia (Nº de artículo 152884)
	Válvula de 3/2 vías accionada neumáticamente por un lado (Nº de artículo 576302)
	Válvula de 5/2 vías, accionado neumáticamente por un lado (Nº de artículo 576307)
	Válvula de impulsos de 5/2 vías, accionado neumáticamente en ambos lados (Nº de artículo 576303)
	Selector de circuito (OR) (Nº de artículo 539771)
	Válvula de simultaneidad (AND) (Nº de artículo 539770)
	Válvula de escape rápido (Nº de artículo 539772)
	Regulador de flujo unidireccional (Nº de artículo 193967)
	Cilindro de simple efecto (Nº de artículo 152887)
	Cilindro de doble efecto (Nº de artículo 152888)
	Válvula de interrupción con filtro y regulador (Nº de artículo 540691)
	Regulador de presión con manómetro (Nº de artículo 539756)
	Manómetro (Nº de artículo 152865)
	Distribuidor de aire (Nº de artículo 152896)
	Tubo de plástico (Nº de artículo 151496)
6	Válvula de 3/2 vías accionada por pulsador, normalmente cerrada (Nº de artículo 152860)
	Válvula de 3/2 vías con pulsador de emergencia (rojo), normalmente abierta (Nº de artículo 152864)
	Válvula de 3/2 vías, accionada por rodillo en un sentido, cerrada (Nº de artículo 152867)
	Válvula de contrapresión (Nº de artículo 152868)
	Válvula de 3/2 vías accionada neumáticamente por un lado (Nº de artículo 576302)
	Válvula de impulsos de 5/2 vías, accionado neumáticamente en ambos lados (Nº de artículo 576303)
	Tubo de plástico (Nº de artículo 151496)
	Selector de circuito (OR) (Nº de artículo 539771)
	Válvula de simultaneidad (AND) (Nº de artículo 539770)
	Temporizador neumático, normalmente abierto (Nº de artículo 539759)
	Contador neumático con preselección (Nº de artículo 152877)
	Módulo de pasos (Nº de artículo 152886)
	Regulador de flujo unidireccional (Nº de artículo 193967)
	Válvula de antirretorno, pilotada (Nº de artículo 540715)
Cilindro de doble efecto (Nº de artículo 152888)	
6	Entrada de señales eléctricas (Nº de artículo 162242)

	Relé, triple (Nº de artículo 162241)
	Final de carrera eléctrico, accionado por la izquierda (Nº de artículo 183322)
	Final de carrera eléctrico, accionado por la derecha (Nº de artículo 183345)
	Sensor de proximidad, óptico, M12 (Nº de artículo 572744)
	Detector de posición electrónico con elemento con fijación a cilindro (Nº de artículo 2344752)
	2 x electroválvulas de 3/2 vías con LED, normalmente cerrada (Nº de artículo 567198)
	Electroválvula de 5/2 vías con LED (Nº de artículo 567199)
	Válvula de doble bobina de 5/2 vías con LED (Nº de artículo 567200)
	Sensor de presión con indicador (Nº de artículo 572745)
	Regulador de flujo unidireccional (Nº de artículo 193967)
	Cilindro de simple efecto (Nº de artículo 152887)
	Cilindro de doble efecto (Nº de artículo 152888)
	Válvula de interrupción con filtro y regulador (Nº de artículo 540691)
	Distribuidor de aire (Nº de artículo 152896)
	Tubo de plástico (Nº de artículo 151496)
6	Entrada de señal, eléctrica (Ref. 162242)
	Relay, triple (Ref. 162241)
	Relé de tiempo, de dos veces (Ref. 162243)
	Preset counter, electrónica (Ref. 1677856)
	Pulsador de parada de emergencia, eléctrico (Ref. 183347)
	Sensor de proximidad, inductivo, M12 (Ref. 548643)
	Sensor de proximidad, capacitivo, M12 (Ref. 548651)
	Terminal de válvulas con 4 válvulas agrupables (MMJJ) (ref. 540696)
	Válvula antirretorno, desbloqueable (Ref. 540715)
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
6	Detector de proximidad, magnetorresistivo (Nº de artículo 566199)
	Sensor de proximidad, inductivo, M12 (Nº de artículo 548643)
	Sensor de proximidad, inductivo, M18 (Nº de artículo 548645)
	Sensor de analógico, inductivo, M12 (Nº de artículo 548644)
	Barrera fotoeléctrica, receptor (Nº de artículo 548647)
	Barrera fotoeléctrica, emisor (Nº de artículo 548648)
	Unidad de fibra óptica (Nº de artículo 548655)
	Fibra óptica (Nº de artículo 548659)
	Sensor de barrera de reflexión (Nº de artículo 548649)
	Reflector (espejo triple), 20 mm (Nº de artículo 548650)
	Sensor de reflexión con supresión de fondo (Nº de artículo 548656)
Sensor de proximidad, capacitivo, M12 (Nº de artículo 548651)	
Unidad de indicación y distribución eléctrica (Nº de artículo 162244)	

	Unidad del carro (Nº de artículo 572740) Juego de objetos de prueba (Nº de artículo 549830)
3	Músculo neumático, tamaño 10 (Nº de artículo 544311) Actuador giratorio, tamaño 16, 184º (Nº de artículo 544313) Actuador lineal, tamaño 18, carrera 170 mm (Nº de artículo 548641) Generador de funciones/Contador/Cronómetro (Nº de artículo 544315) Electroválvula de conmutación rápida de 3/2 vías, normalmente cerrada (Nº de artículo 544312) Electroválvula de 5/3 vías, normalmente cerrada (Nº de artículo 567201) Válvula de estrangulación y antirretorno (Nº de artículo 548634) Detector de posición electrónico (Nº de artículo 2342009) Válvula de interrupción con filtro y regulador (Nº de artículo 540691) Peso, 175 g (Nº de artículo 548581) Peso, 2 kg (Nº de artículo 548582) Acumulador de aire comprimido: 0,4 l (Nº de artículo 152912)

Nota: elaborado por el autor

En figuras 4.2 y 4.3 se muestran bandejas con dispositivos según Maleta de trabajo, en cada bandeja existen diversos dispositivos (según tabla 4.2).

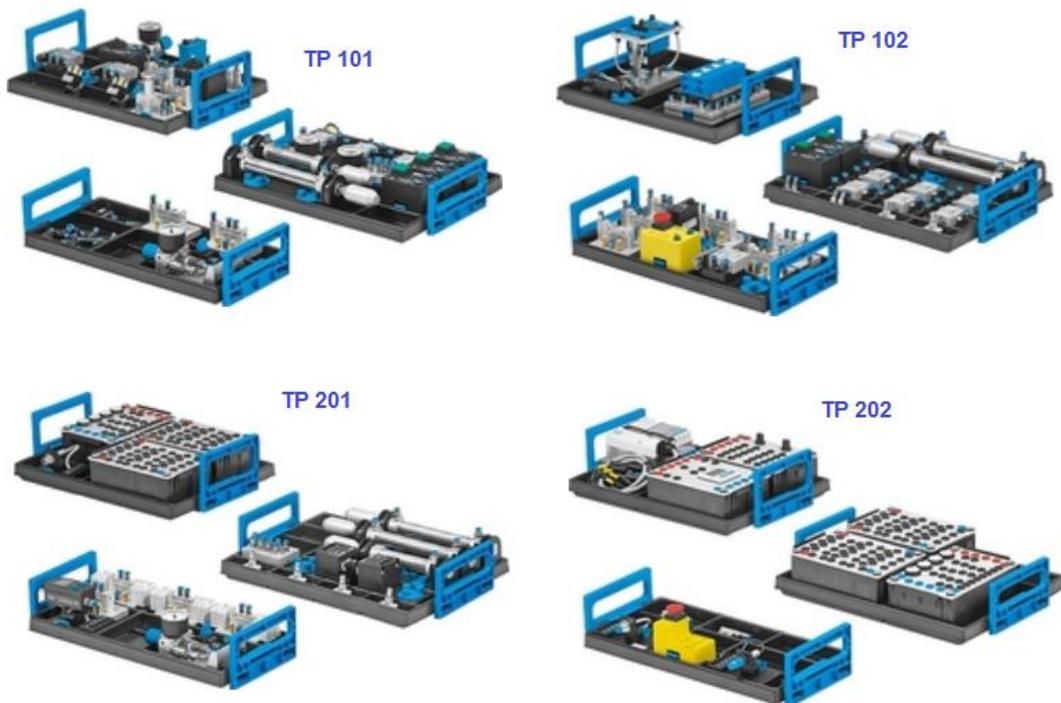


Figura 4. 2 Bandejas de maletas TP: 101, 102, 201 y 202

Fuente: el autor a partir de (FESTO Didactic, 2019)

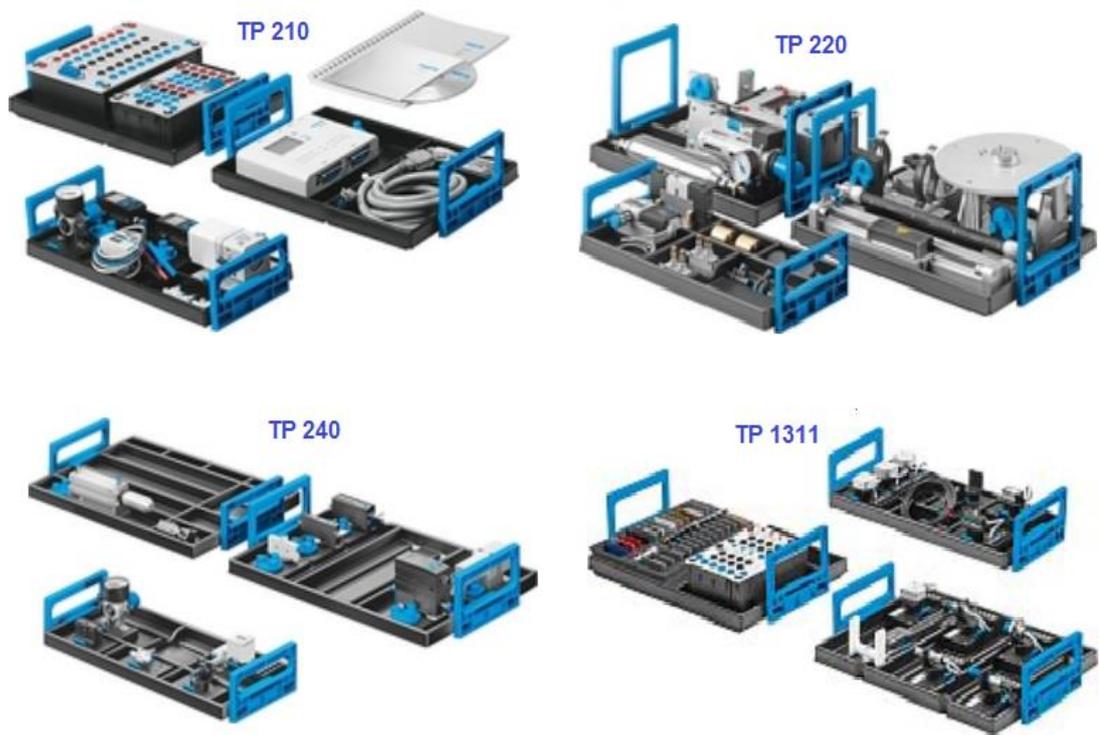


Figura 4. 3 Bandejas de maletas TP: 210, 220, 240 y 1311

Fuente: el autor a partir de (FESTO Didactic, 2019)

4.3 Tableros FESTO

Debido al área del laboratorio de neumática se encuentran 3 estaciones de trabajo, estas consisten en tableros didácticos (puestos de trabajos) Cada estación tiene movilidad (ruedas con freno) y están diseñada de tal forma que permite trabajar y realizar ejercicios simultáneamente a varias personas por cada lado del tablero.

En la figura 4.4 se aprecia una estación de trabajo, su tablero es de aluminio ionizado, posee ranuras de 1 cm y permite anclar o fijar los dispositivos FESTO. En la figura 4.5 se muestran las estaciones de trabajo del laboratorio de neumática de la FETD.

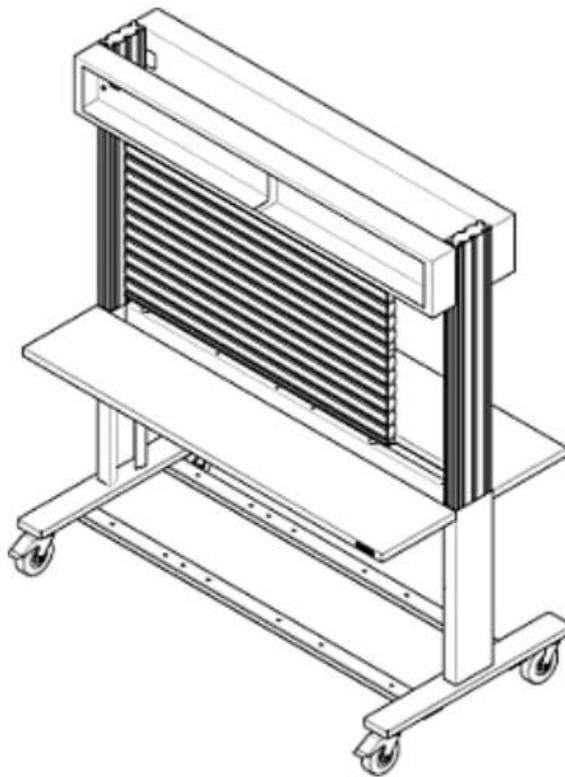


Figura 4. 4 Estación de trabajo en laboratorio de Neumática

Fuente: el autor



Figura 4. 5 Vista de 3 estaciones de trabajo para práctica en neumática

Fuente: El autor

A continuación, se realiza el dimensionamiento del compresor a partir del consumo de aire comprimido. Se toma en cuenta los dispositivos de maletas TPs.

4.4 Dimensionamiento del compresor

Para disponer de aire y conocer su gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación. Se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Las herramientas de aire neumáticas requieren un flujo de aire comprimido (expresado en pies cúbicos por minuto [CFM], metros cúbicos por hora [m^3/hr] ó litros por minuto [lts/min]) a una presión específica (expresada como libra-fuerza por pulgada cuadrada [PSIG], Kilogramos por centímetro cuadrado [Kg/cm^2], ó Bares).

La eficiencia de un compresor está determinada por su flujo de aire y la presión que entrega, no necesariamente por su potencia. Por lo tanto, puede ignorar la potencia nominal al dimensionar y seleccionar un compresor.

2. Reúna todas sus herramientas neumáticas juntas. Escriba el flujo de aire (CFM, m^3/hr , lts/min) requerido para operar cada herramienta, según lo especificado por el fabricante.

3. Agregue los requisitos de flujo de aire de todas las herramientas neumáticas que planea ejecutar al mismo tiempo. Aumente este número en un 25% para permitir herramientas adicionales, crecimiento futuro y eventuales fugas del sistema de aire.

4. Determine la presión máxima (PSIG) necesaria para hacer funcionar las herramientas neumáticas. No necesita agregar los valores PSIG juntos como lo hizo con los requisitos de CFM; simplemente use el valor de la herramienta que requiere la mayor cantidad de presión.

4.4.1 Cálculo para determinar el compresor

Para este cálculo se tiene la siguiente información técnica del laboratorio:

- Presión de trabajo: 600KPa (6 bares)
- Presión de servicio: 700KPa (7 bares)
- Diferencia de presión: 1 bar

Además, se calcula la relación de compresión:

$$= \frac{101.3 + \textit{Presión de trabajo}}{101.3}$$

$$\frac{101.3 + 600}{101.3} = \frac{701.3}{101.3} = 6.923$$

Para poder realizar el cálculo del consumo de aire, se reconoce las siguientes cargas:

- Cilindro de Simple Efecto
- Cilindro de Doble Efecto

Estas cargas estarán en cada tablero de prácticas que existirá en el laboratorio. De aquí se obtendrá datos como como el consumo de aire; además se calculará la longitud total del laboratorio, capacidad del acumulador, los elementos que estarán en la red y el tipo de compresor que se necesita.

4.4.2 Cálculo Teórico

- Cilindro de Simple Efecto

Tendremos en cuenta los datos técnicos revisados en la página oficial de FESTO.

⇒ Diámetro de embolo(d)= 25mm

⇒ Longitud de carrera(s)= 100mm

⇒ Ciclos por minutos(n)= 10min⁻¹

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$V = s * n * \frac{d^2 * \pi}{4} * \text{relación de compresión}$$

Ecuación 1 Consumo del cilindro SE

Fuente: UPS-GT000117

$$V = 100 * 10 * \frac{(0.025)^2 (3.1416)}{4} * 6.923$$

$$V = 3.398 \frac{l}{min}$$

- Cilindro de Doble Efecto

Tendremos en cuenta los datos técnicos revisados en la página oficial de FESTO.

⇒ Diámetro de embolo(D)= 25mm

⇒ Diámetro del Vástago(d)=10mm

⇒ Longitud de carrera(s)= 100mm

⇒ Ciclos por minutos(n)= 10min⁻¹

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$= \left(100 * \frac{(0.025)^2 (3.1416)}{4} + 100 * \frac{(0.025)^2 - (0.010)^2 (3.1416)}{4} \right) * 10 * 6.923$$

$$= 6.5529 \frac{l}{\text{min}}$$

4.4.3 Consumo total

Para este valor se debe tener en cuenta, a parte del consumo de cada elemento, lo siguiente:

- Cantidad de elementos por cada tablero
- Cantidad de puestos de trabajo

Consumo total = Consumo por elemento*Elemento por tablero*Número de tablero

$$\text{Consumo total (SE)} = 3.398 * 4 * 1 = 13.592 \text{ l/min}$$

$$\text{Consumo total (DE)} = 6.5529 * 4 * 1 = 26.2116 \text{ l/min}$$

$$\text{Consumo total por tablero} = 13.592 + 26.2116 = 39.8036 \text{ l/min} \rightarrow 2.388 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo total} = 2.388 \text{ m}^3/\text{h} * 4 = 9.552 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.4.4 Acumulador de aire comprimido

Este acumulador compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medidas que se consume aire comprimido, adicionalmente es un elemento esencial en un sistema neumático.

El tamaño del acumulador depende de:

- Caudal de suministro del compresor
- El consumo de aire
- La red de tuberías
- Tipo de regulación
- Diferencia de presión admisible en el interior de la red

Para el diseño se recomienda que el funcionamiento del compresor sea intermitente, esto nos da un dato, su frecuencia de conmutación en una hora

Conociendo el consumo de aire se obtiene los siguientes datos:

⇒ Caudal (V)= 9.552 m³/h

⇒ Frecuencia de conmutación/h (z)= 20

⇒ Diferencia de presión (dP)= 1bar

Utilizando el siguiente diagrama se precisa que el acumulador sea de aproximadamente de 0.7m³

4.4.5 Cálculo de tubería

En la tabla 4. 3 se detalla resultados del cálculo de tubería

Tabla 4. 3 Cálculo de tubería

Consumo de aire	9.552 m ³ /h
Longitud de tubería	23.5 m
Presión de servicio	700kPa–7 bares
Diferencia de presión	1 bar
Elementos de la red	
Piezas en T	4
Piezas codo 90°	4
Válvula cierre	5

Fuente. El autor

4.5 Cuarto de compresor

El cuarto del compresor deberá ubicarse en el exterior del laboratorio, para tal efecto se efectuará obra civil (loseta de hormigón armado) donde se

realizarán adecuaciones para construir su cuarto con la respectiva alimentación eléctrica, puesta tierra y ventilación adecuada.



Figura 4. 6 Ubicación de compresor para instalación de aire comprimido

Fuente: El autor

Se definió construir una base soportada para el compresor, esta consta de una columna de hormigón que soporte una loseta de concreto de 2 x 1 metros, y tendrá una canastilla metálica y como cubierta tendrá hoja de zinc.

4.6 Red de distribución

El laboratorio constará con una red de distribución con cuatro ramales o red secundaria en el lado derecho del aula, tomando como referencia la entrada. Asimismo, tendrá un diseño en lazo abierto o red abierta y estará ubicada a una altura determinada con extensiones que bajarán por las paredes adyacentes hacia las estaciones de trabajo.

En la figura 4.7 se muestra el recorrido de instalación primaria y ramales secundarios (4) de aire comprimido.

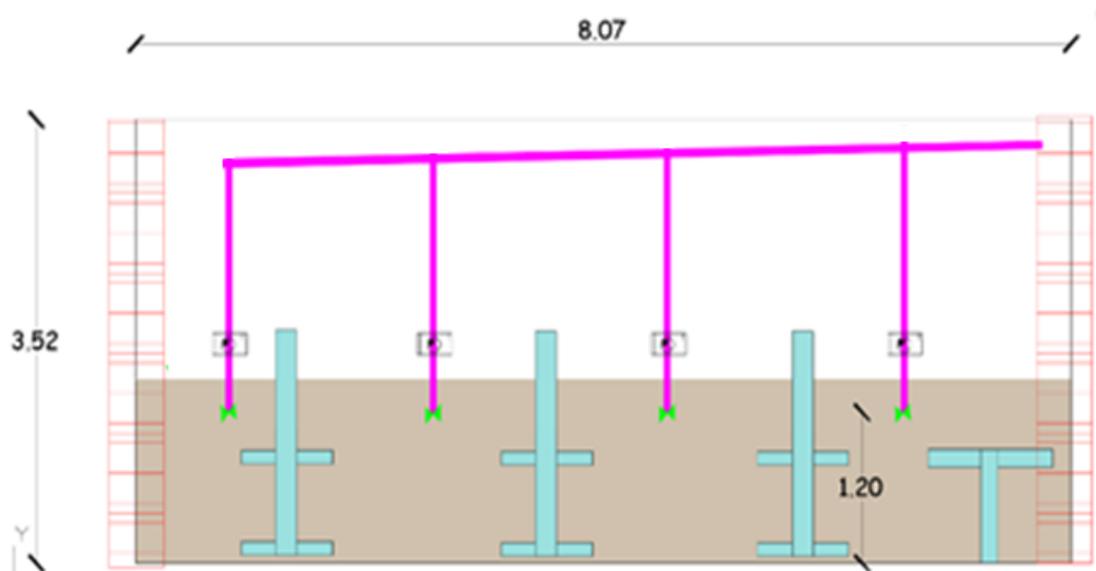


Figura 4. 7 Diseño de red de distribución de aire comprimido

Fuente: El autor

La contribución o propuesta de este trabajo de titulación, concluye que el compresor deberá ser de 3 HP, por costos puede ser de tipo pistón, el diámetro de la tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y preferible que sea de aluminio.

Partir de la propuesta de generación de aire comprimido, se sugiere que se continúe con el tratamiento del aire comprimido

4.7 Montaje de compresor

Para realizar el montaje del compresor se debió construir una columna (2 metros) de hormigón con una loseta de 2x1 metros y con diámetro de 12 cm, en la parte superior. La loseta tendrá barandales de hierro y un techo con lo cual se da seguridad y protección por sol y lluvia al compresor.

En la figura 4.8 se muestra la placa del compresor y en las figuras 4.9 y 4.10 se muestran imágenes de la instalación del compresor.

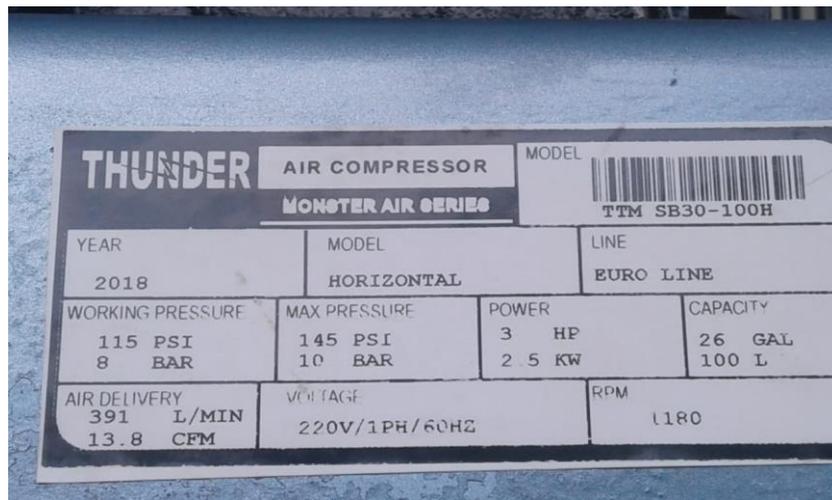


Figura 4. 8 Placa del compresor Thunder 3 HP

Fuente: el autor



Figura 4. 9 Montaje del compresor en loseta

Fuente: el autor

Se procede a realizar conexión de tubería empleando cinta y pasta para conexión segura contra fugas del aire comprimido. Se ajusta partes del compresor como manómetro, purga etc.



Figura 4. 10 Ajustes de manómetro y purga

Fuente: el autor

La instalación del compresor para el laboratorio de Neumática contó con la ayuda del Tecnólogo Danny Pincay quien realizó el diseño e instalación de tubería para derivar ramales secundarios, los cuales deberán alimentar cargas o dispositivos neumáticos. Véase figuras 4.11 y 4.12.



Figura 4. 11 Instalación de tubería principal y accesorios

Fuente: el autor



Figura 4. 12 Conexión eléctrica a 220 monofásico

Fuente: el autor

En el interior del laboratorio se instala la tubería principal manteniendo un 5% de inclinación para que el condensado llegue por gravedad a ramales secundario donde 4 unidades de mantenimiento podrá purgar el condensado (líquido producido por compresión del aire).

En la figura 4.13 se muestra imagen de la instalación del laboratorio de Neumática de la FETD.



Figura 4. 13 Instalación de aire comprimido en laboratorio de Neumática de la FETD

Fuente: el autor

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La industria 4.0 es una combinación de digitalización, nueva tecnología apoyada en la electrónica, informática, robótica etc., la cual induce a producción eficiente y supervisión remota en todos los niveles de producción.

Los sensores, actuadores y dispositivos embebidos en equipos de producción y en red a través del internet facilita monitorear variables controladas en tiempo real.

Los sistemas pueden generar una enorme cantidad de datos. Los mismos que se pueden almacenar en la nube, así también extraer para obtener información y tomar decisiones para la eficiencia de producción, automatización del monitoreo y control.

Los sistemas neumáticos convencionales pertenecen al grupo de los accionamientos y sistemas de control mayormente utilizados en la industria.

A pesar de que la generación y preparación del aire comprimido es un proceso costoso y que consume bastante energía, el uso de sistemas neumáticos es rentable debido a la durabilidad, y la simplicidad del servicio

Los compresores absorben el aire ambiente que siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua. El proceso de comprimir aire a alrededor de 100 psi eleva la temperatura del aire, pero también el punto de rocío y la capacidad de retención de agua.

El depósito de aire comprimido tiene como función principal almacenar aire comprimido, también ayuda a separar el condensado por medio de la fuerza de gravedad.

Los componentes principales del sistema de consumo de aire consisten en filtro de admisión, compresor, válvula de extracción de aire, drenaje

automático, unidad de servicio (mantenimiento) de aire, válvula direccional, actuadores y reguladores de velocidad.

Según los datos de consumo por parte de equipamiento FESTO, el caudal el compresor deberá ser de 3 HP, por costos puede ser de tipo pistón, el diámetro de la tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y preferible que sea de aluminio

Las cargas (consumo) de aire neumáticas requieren un flujo de aire comprimido (expresado en pies cúbicos por minuto [CFM], metros cúbicos por hora [m^3/hr] ó litros por minuto [lts/min]) a una presión específica (libra-fuerza por pulgada cuadrada [PSIG], Kilogramos por centímetro cuadrado [Kg/cm^2], ó Bares).

El consumo total de aire comprimido es de aproximadamente $2.388m^3/h$ que multiplicado por 4 tableros (3 tableros existentes más uno adicional) da como resultado un caudal de $9.552m^3/h$, el cual, según desempeño del compresor, representa una generación de aire comprimido de 2.8 HP.

RECOMENDACIONES

Se recomienda efectuar revisiones a los componentes principales del sistema de producción de aire comprimido (compresor de aire), motor eléctrico, centro de control del motor, interruptor de presión, válvula de retención, tanque de almacenamiento, manómetro, drenaje automático, filtros, lubricador de aire, tuberías.

El acceso al espacio donde está instalado el compresor de aire y sus accesorios relacionados debe tener fácil acceso, se sugiere realizar adecuaciones para ingreso, así como para llegar a la loseta (se sugiere una escalerilla).

Se debe considerar una proyección de las demandas futuras y los vínculos con el sistema de distribución existente.

Las fugas de aire son un problema importante con el sistema de distribución por aquello es importante tener en cuenta que la mayoría de las fugas del sistema estarán en el punto de uso y no en la tubería de distribución.

Las tuberías desde el encabezado hasta los puntos de uso deben conectarse a la parte superior o lateral del encabezado para evitar que se llene con condensado. Se deben instalar patas de drenaje desde la parte inferior de la cabecera para recoger el condensado.

Bibliografía

Anónimo. (s.f.). *Descripción del Sistema de Aire Comprimido* . Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5025/fichero/2-+Descripci%C3%B3n+aire+comprimido.pdf>

Bueno, F. (2013). *La atmósfera*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/pacobueno1968/tema-4-la-atmsfera>

Cassani, M. (2011). *Instalaciones de aire comprimido – Consideraciones de diseño*. Obtenido de <https://marcelocassani.wordpress.com/2011/02/02/disenoinstalacione-sdeaire/>

FESTO. (2018). *Digitalization - New Opportunities*. Obtenido de https://www.achema.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Presse/ACHEM_A_2018/Fachpressetag/UE6_Achema_Festo_PK.pdf

FESTO. (2018). *Industria 4.0 De la visión a la realidad: situación en 2018*. Obtenido de <https://docplayer.es/81370051-Industria-4-0-de-la-vision-a-la-realidad-situacion-en-2018.html>

FESTO Didactic. (2019). *Neumática*. Obtenido de <https://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/equipos-de-practicas/neumatica/?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4yMC41NjI>

Instituto de energía y termodinámica - UPB. (2015).

Instrumentación Industrial . (2008). *Compresores Neumáticos*. Obtenido de <http://instrumentacionindustrial2007ii.blogspot.com/2008/03/compresores-neumticos.html>

INTEC. (2018). *APLICACIONES DE LA NEUMÁTICA EN LA INDUSTRIA*.
Obtenido de <https://suministrointec.com/aplicaciones-neumatica-industria/>

Manufacturing Automation. (2016). *The IIoT or Industry 4.0: Who will win?*
Obtenido de <https://www.automationmag.com/technology/iiot-iiot/6388-the-iiot-or-industry-40-who-will-win>

Mundo Compresor. (2018). *La filtración en las líneas de aire comprimido*.
Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>

Mundo Compresor. (2019). *Aire respirable*. Obtenido de
<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/aire-respirable1>

PARKER. (2010). *Técnica de aire comprimido*. Obtenido de Fundamentos y consejos prácticos: <http://mx.kaeser.com/m/Images/P-2010-MX-tcm325-6752.pdf>

PARKER. (2015). *Introducción a las normas ISO de calidad del aire*.
Obtenido de <https://www.oga.com.co/wp-content/uploads/2015/08/ANEXO-1-CALIDAD-DE-AIRE-NORMA-ISO.pdf>

Universidad de Oviedo. (2006). *Instalación de aire comprimido*. Obtenido de
Universidad de Oviedo:
<http://kimerius.com/app/download/5793843517/Instalaci%C3%B3n+de+aire+comprimido.pdf>

Anexo 1

INFORME

ESTADO DE COMPRESORES DEL LABORATORIO DE NEUMÁTICA DE LA FACULTAD EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE LA UCSG

8 JUNIO DEL 2018

ANTECEDENTES

En el laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la UCSG están instalados tres compresores de la proveedora FESTO DIDACTIC, estos compresores son lubricados con aceite, ultra silenciosos (45 dB (A)). Incluye manorreductor y separador de agua, cuyas características son:

- Presión: 800 KPa (8 bar) Pmax
- Capacidad de aspiración: 50 l/min
- Volumen del depósito: 24 litros
- Salida de aire comprimido: ¼" o KD4
- Emisión acústica: 45 dB (A)/1m
- Tiempo de utilización: máx. 50 %
- Válvula reguladora de presión con manómetro.
- Ejecución: 120 V/60 Hz con toma de corriente y clavija según NEMA 5-15.



Figura N° 1.- Compresor de aire comprimido

La función de cada uno de estos compresores es la de alimentar con aire comprimido una mesa de trabajo con dos paneles laterales opuestos, hacen prácticas los estudiantes, en las materias de Neumática y Electro-Neumática en la carrera Electrónica en Control y Automatismo

DETECCIÓN DE FALLAS

Dos compresores dejan de funcionar, producen un recalentamiento en el cable de alimentación de voltaje AC.

Se procede:

1. A medir continuidad en los cables de alimentación de energía eléctrica.
2. A comprobar operatividad de cada uno de los compresores, chequeando la carga de aire y pruebas de funcionamiento de válvulas de descarga y escape de aire.
3. A medir la corriente en consumo que se genera en cada uno de los compresores en estado de funcionamiento.

Se comprueba:

Dos de los cables de energía para alimentación están "abiertos", es decir no hay continuidad.

1. La corriente de consumo en los compresores mencionados en el ítem anterior (de los extremos), es de 6 Amperios AC.
2. En el compresor instalado en el centro el consumo es de 21 Amperios AC, lo que producía un calentamiento inmediato en el cable que lo alimentaba.
3. Dos Compresores no están operativos (no funcionan).

Se decide:

1. Desmontar partes de conexión eléctrica y de elementos externos (ubicación según lugar en lab. Neumática) para hacer revisión visual y pruebas de medición en vivo del compresor instalado en la mesa central. Se encontró capacitor en corto circuito. Se miden resistencias de las bobinas.
2. De igual forma se desmonta partes de conexión eléctrica y de elementos externos para hacer revisión visual y pruebas de medición en vivo de los compresores instalados en las demás mesas de trabajo. Se miden resistencias de las bobinas.

Se concluye:

1. Cables defectuosos por mal manejo al realizar la desconexión de la toma de 110 VAC.
2. Capacitores en periodo de franco deterioro por el tiempo de vida útil o de permanencia por desgaste del material con que está fabricado.

Se recomienda y se realiza:

1. Cambiar los cables de alimentación de A de cada uno de los compresores.
2. Cambiar los capacitores de los tres compresores.

Se adjunta fotos de terminales eléctricos y de capacitores con valores de fabricante.



Figura N° 2.- Capacitor con los datos de placa

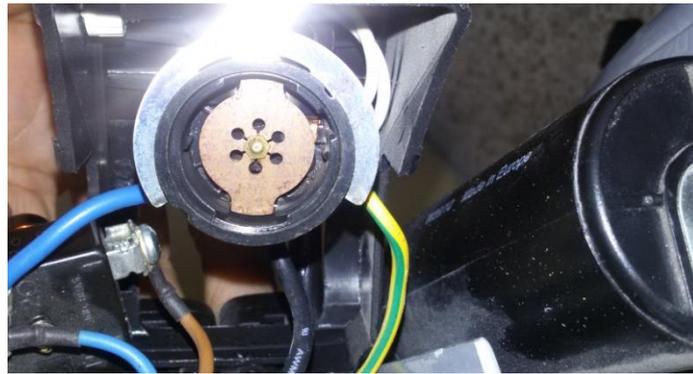


Figura N° 3.- elemento térmico de protección del compresor.

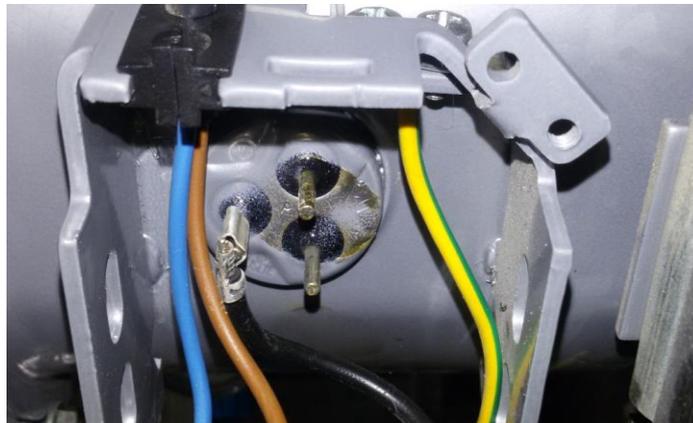


Figura N° 4.- Terminales de conexión de entrada de alimentación al compresor.

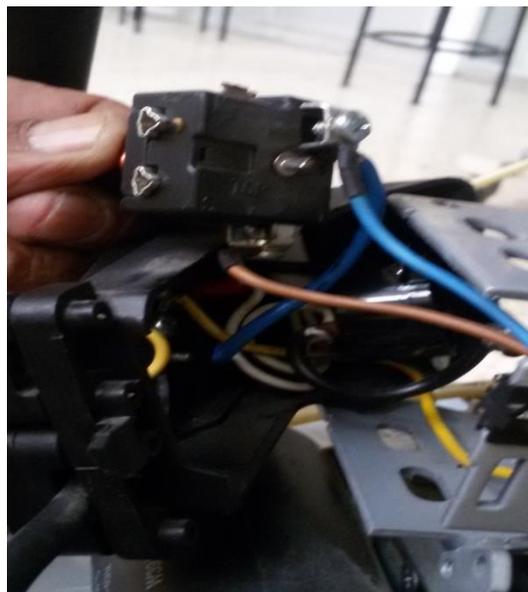


Figura N°5.- Conector de alimentación al compresor.

Dos compresores de los tres que están instalados en el laboratorio de Neumática no operan y prosigue el calentamiento de carcasa, estos casos indican que pistones ‘pegados’ es decir el pistón, el cilindro y las juntas están literalmente pegadas y esto produce calor en su carcasa y la pérdida de energía.

Conclusiones

Los compresores son máquinas eléctricas rotatorias y deben tener mantenimiento respectivo. Una empresa contratada podría dedicarse a este aspecto. Solo un compresor se encuentra operativo y puede que deje de operar próximamente si es que no se aplica el mantenimiento preventivo.

Los compresores que tiene el laboratorio son equipos para nivel didáctico, debería seleccionarse o cambiar a un equipo robusto (tal como se utiliza en procesos industriales).

Recomendaciones

En lo posible instalar un solo compresor (3 o 5 HP) tipo Tornillo el cual es libre de mantenimiento, opera sin aceite, es silencioso y eficiente en consumo eléctrico, algo costoso comparado con compresor de pistón, pues estos son ruidosos y si necesitan tener mantenimiento cada año.

Así mismo realizar la instalación de tubería y accesorios (filtros, reguladores, lubricadores) adecuados para las tomas de aire comprimido dentro del laboratorio (dicha instalación de aire comprimido no existe). Este aspecto es vital para el buen funcionamiento del compresor y su alimentación a la demanda de aire comprimido.

Reparar los compresores dañados y que se utilicen en eventos donde se deba desplazar algún equipo neumático.

Atentamente.

Msc. Orlando Philco Asqui

Responsable Laboratorio Neumática

cc: Armando Heras Sánchez - Director de Carrera



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Darwin Jimmy Pillasagua Santana** con C.C: # **091931515-0** autor del trabajo de titulación: **Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador, para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigente.

Guayaquil, 19 de Marzo del 2019

Darwin Jimmy Pillasagua Santana
C.C: 091931515-0



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de la Neumática digitalizada y diseño de generación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD		
AUTOR(ES)	Darwin Jimmy Pillasagua Santana		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Orlando Philco Asqui		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	105
ÁREAS TEMÁTICAS:	Neumática, Eficiencia energética, Control de procesos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Neumática Digitalizada, IIoT, Industria 4.0, Compresor, Aire comprimido.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>El presente trabajo de titulación estudia la neumática convencional muy empleada en procesos industriales, así también se examina la infraestructura del modelo de la neumática digitalizada, el cual se integra al concepto tecnológico de Industria 4.0 la cual conlleva a la producción inteligente, eficiencia energética, comunicación y supervisión remota. Pues los equipamientos de neumática están siendo conectados al internet de las cosas IoT. La metodología utilizada contempla 3 métodos de investigación; método descriptivo porque se detalla componentes de la neumática convencional como la digital. Se aplica el método analítico para determinar mediante cálculo teórico el tamaño adecuado del compresor y las líneas de alimentación (ramales secundarios). Se aplica el método empírico para el montaje y calibración de componentes de generación de aire comprimido, que alimentará dispositivos y equipos neumáticos que están dentro del laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil UCSG.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-960952877	E-mail: pillasaguadj@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Orlando Philco Asqui		
	Teléfono: +593-980960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			