



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE
EMPACADORA TOLEDO, S. A., PLANTA AMATITLÁN**

Victor Hugo Mejía Jiménez

Asesorado por el Ing. Jorge Luis Puertas Jerez

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE
EMPACADORA TOLEDO, S. A., PLANTA AMATITLÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VICTOR HUGO MEJÍA JIMÉNEZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE LUIS PUERTAS JEREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Fígueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Orlando Pinzón Trangay
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE EMPACADORA TOLEDO, S. A., PLANTA AMATITLÁN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 10 de noviembre de 2009.



Victor Hugo Mejía Jiménez

Guatemala, 25 de junio de 2012.

Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Señor Director.

Atentamente me permito comunicarle que he tenido a la vista el trabajo de graduación del estudiante Victor Hugo Mejía Jiménez, Carné 2001 12734, titulado: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE EMPACADORA TOLEDO, S. A. PLANTA AMATITLÁN, y después de realizar revisiones correspondientes concluyo que se cumple con los objetivos propuestos, procediendo por este medio a su aprobación.

Atentamente



Ing. Jorge Luis Puertas Jerez.
No. De Colegiado 5763

Ingeniero Jorge Luis Puertas Jerez
Colegiado No. 5,763

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE EMPACADORA TOLEDO, S. A. PLANTA AMATITLÁN**, del estudiante **Victor Hugo Mejía Jiménez**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, julio de 2012 .

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE EMPACADORA TOLEDO, S.A., PLANTA AMATITLÁN** del estudiante **Victor Hugo Mejía Jiménez**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, septiembre de 2012

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE EMPACADORA TOLEDO, S.A., PLANTA AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Hugo Mejía Jiménez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Septiembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Mi Padre Celestial, por darme tan bella oportunidad de culminar esta tarea tan importante en mi vida.
- Mis padres** Albertina Jiménez Crispín y Victoriano Mejía Pérez por sus múltiples sacrificios, apoyo y amor incondicional que me brindaron, a ellos dedico este triunfo alcanzado.
- Mi esposa** Jehimy Rosmery Barrera, te amo.
- Mis hijos** Jose David y Abigaíl Mejía.
- Mis hermanos** Daniel Castillo, Karina Mejía y Rodrigo Mejía, por su apoyo y amor fraternal.
- Mis amigos** Por cada uno de esos momentos que compartimos y por los que hoy finalizo este capítulo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por estar conmigo en todo momento, darme sabiduría, dirección, fuerza, protección y permitirme lograr este triunfo.
- Mi madre** Por todo su amor, apoyo, enseñanzas y consejos. Por mostrarme el camino del bien y por enseñarme a no rendirme y levantarme ante los problemas y las dificultades.
- Mi padre** Por ser un amigo en el momento de pruebas.
- Mi esposa** Por permitirme compartir contigo esta etapa en mi vida.
- Mis hijos** Los amo como a mi vida misma.
- Mis hermanos** Por cada uno de esos momentos que nos formaron entre el amor y tristeza.
- Mis sobrinos** Alejandro, Andrea y Jose Daniel, que sea un ejemplo para sus vidas profesionales.

Universidad de San Carlos de Guatemala En especial a la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de expandir mis conocimientos científicos, técnicos y éticos en tan prestigiosa casa de estudios.

Ing. Jorge Luis Puertas Jerez Por brindar el apoyo técnico profesional de manera incondicional y por su valiosa asesoría al presente trabajo de graduación.

Empacadora Toledo S. A., Amatitlán Por permitirme realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones.

Mis amigos Innombrables todos, cada uno merece el éxito en sus vidas.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización del siguiente trabajo de graduación, que Dios los bendiga y los llene de éxitos en el futuro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Antecedentes históricos de Empacadora Toledo, S. A.	1
1.1.1. Localización geográfica de la Empacadora Toledo, S. A.....	2
1.1.2. Toledo, como miembro de DIPCOMI	3
1.1.3. Misión y visión	3
1.1.4. Valores	3
1.1.5. Estructura organizacional	4
1.1.5.1. Organigrama	4
1.2. Departamento de Conservación Industrial.....	5
1.2.1. Misión y visión.....	6
1.2.2. Responsabilidades de mantenimiento	6
1.3. Herramientas de Conservación Industrial	7
1.3.1. Diagrama de Pareto de fallas.....	7
1.3.2. Indicadores de disponibilidad y confiabilidad	10
1.3.3. Mejora continua.....	12
1.3.4. Reuniones periódicas.....	12

2.	FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE	
	COMPRESIDO.....	15
2.1.	Propósito y métodos de la compresión de aire.....	15
2.1.1.	Propósito de la compresión de aire.....	15
2.1.2.	Métodos de la compresión de aire	16
2.1.2.1.	Flujo intermitente	17
2.1.2.2.	Flujo continuo.....	18
2.2.	Filtración del aire comprimido.....	19
2.2.1.	Fundamentos del filtrado de aire.....	19
2.2.2.	Tipos de filtración	20
2.3.	Secado del aire comprimido	21
2.3.1.	Importancia del secado	21
2.3.2.	Tipos de secado de aire comprimido	22
2.4.	Sistema de distribución de aire comprimido.....	25
2.4.1.	Tipos de sistema de distribución de aire	25
2.4.2.	Accesorios de distribución de aire comprimido	29
2.4.2.1.	Tubería	29
2.4.2.2.	Válvulas	30
2.4.2.3.	Filtros	31
2.4.2.4.	Válvulas de drenaje o trampas.....	32
2.4.2.5.	Unidades de mantenimiento	32
2.4.2.6.	Depósitos de aire	33
3.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	35
3.1.	Compresores de aire comprimido	35
3.1.1.	Tipos de compresores.....	38
3.1.2.	Capacidad de generación de aire comprimido	38
3.1.3.	Principio de operación del compresor de tornillo.....	39
3.1.4.	Mantenimiento.....	43

3.2.	Secadores de aire comprimido	45
3.2.1.	Tipos de secadores	47
3.2.2.	Capacidad	47
3.2.3.	Principio de operación	48
3.2.4.	Mantenimiento	49
3.3.	Sistema de distribución de aire comprimido	52
3.3.1.	Red de distribución de aire comprimido	52
3.3.2.	Accesorios de distribución de aire comprimido.....	52
3.3.2.1.	Trampas de condensado.....	58
3.3.2.2.	Válvulas.....	59
3.3.2.3.	Filtros	60
3.3.2.4.	Unidades de mantenimiento.....	63
3.3.2.5.	Depósitos de aire	64
3.4.	Mantenimiento de la red de distribución de aire comprimido	66
4.	EVALUACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	69
4.1.	Compresores de aire comprimido.....	70
4.1.1.	Estudio de generación de aire comprimido	70
4.1.2.	Análisis del estudio de generación	74
4.2.	Secadores de aire	77
4.2.1.	Análisis de los secadores según su capacidad	77
4.2.2.	Análisis de los secadores según su funcionamiento	79
4.3.	Distribución de aire comprimido.....	80
4.3.1.	Auditoria de la red de distribución de aire comprimido ...	81
4.3.1.1.	Fugas	81
4.3.1.2.	Accesorios con mayor índice de fugas.....	87
4.3.2.	Análisis de auditoria	87
4.4.	Accesorios de la red de distribución de aire	90
4.4.1.	Análisis de los accesorios según la capacidad	90

4.5.	Mantenimiento actual de la generación y distribución del aire comprimido.....	101
4.5.1.	Análisis del mantenimiento preventivo de las unidades generadoras de aire comprimido	104
4.5.2.	Análisis del mantenimiento preventivo de la red de distribución del aire comprimido.....	105
5.	PROPUESTA PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	107
5.1.	Implementación de control para aire comprimido.....	107
5.1.1.	Autorización de línea nueva de aire comprimido.....	108
5.1.2.	Autorización para la eliminación de línea de aire comprimido.....	109
5.1.3.	Diseño para depósito de aire	111
5.1.4.	Identificación para accesorios y/o equipos de consumo de aire comprimido	112
5.1.5.	Identificación para líneas de distribución	114
5.2.	Propuesta para el cuarto de compresores de aire comprimido ...	116
5.3.	Propuesta de reacondicionamiento en la red de distribución	117
5.4.	Propuesta de rutinas para mantenimiento preventivo para la generación y red de distribución de aire comprimido	123
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica Empacadora Toledo, S. A.....	2
2.	Organigrama de Empacadora Toledo, S. A.....	5
3.	Gráfica de diagrama de Pareto por cantidad de horas de paro por fallas.....	9
4.	El aire comprimido, en calidad de fuente de energía, incluido en un circuito de proceso industrial continuo	16
5.	Clasificación de compresores.....	17
6.	Secado del aire comprimido, secador frigorífico.....	23
7.	Secado del aire comprimido, secado por adsorción.....	24
8.	Circuito de aire comprimido abierto.....	26
9.	Pendiente de una red de aire comprimido.....	26
10.	Dirección de flujo en una red cerrada para una demanda característica	27
11.	Configuración cerrada y su ausencia de inclinación.....	28
12.	Circuito de aire comprimido mixto	28
13.	Ejemplo de una red y sus accesorios	30
14.	Válvula de cuerpo de dos piezas.....	31
15.	Símbolo neumático de filtro	32
16.	Símbolo neumático de unidad de mantenimiento.....	33
17.	Depósito de aire comprimido horizontal	34
18.	Ficha técnica de compresor de aire	37
19.	Perfil de compresor de tornillo.....	38
20.	Perfil de rotores; simétrico y asimétrico.....	40

21.	Fases de trabajo del compresor de tornillo	42
22.	Orden de trabajo de mantenimiento para compresores de aire	44
23.	Ficha técnica de secador de aire comprimido	46
24.	Diagrama P&I del sistema frigorífico del secador de aire Kaeser, modelo TC 31	50
25.	Orden de trabajo de mantenimiento para secadores de aire comprimido	51
26.	Red de distribución de aire comprimido de Empacadora Toledo, S. A..	53
27.	Fotografía de válvula de acero inoxidable de ½”	59
28.	Filtro de admisión de aire	60
29.	Filtro de partículas	61
30.	Filtro coalescente	62
31.	Imagen de unidad de mantenimiento, marca Festo, mod. FRC- 1/4-D-MINI	65
32.	Depósitos de aire comprimido de Empacadora Toledo.....	65
33.	Orden de trabajo para la red de distribución de aire comprimido.....	67
34.	Comportamiento de presión generada y presión de red	73
35.	Comportamiento del consumo de aire comprimido por día	74
36.	Comportamiento de presión y consumo durante una semana	76
37.	Diseño actual de la generación de aire comprimido	79
38.	Monograma para determinar tuberías para aire comprimido	94
39.	Comparación entre tubos de diversos materiales	97
40.	Formato para habilitar una línea nueva de aire comprimido	108
41.	Formato para eliminar alimentación de aire comprimido.....	110
42.	Propuesta de reacondicionamiento de unidades compresoras.....	117
43.	Monograma para determinar el diámetro de la tubería para la planta .	121
44.	Propuesta de modificación de la red de aire comprimido.....	122
45.	Formato para reportar fugas en la red de aire comprimido	127

46.	Formato para reportar desviaciones en las instalaciones de red de aire comprimido	128
-----	---	-----

TABLAS

I.	Formato empleado para reporte de fallas	8
II.	Diagrama de Pareto por cantidad de horas de paro por fallas.....	9
III.	Formato de disponibilidad y confiabilidad de equipos.....	11
IV.	Formato de reuniones diarias con equipos de mantenimiento.....	13
V.	Tipos de filtro a partir del contaminante	21
VI.	Identificación para compresores de aire	36
VII.	Capacidad de compresores de aire	39
VIII.	Identificación para secadores de aire comprimido	45
IX.	Capacidad de secadores de aire comprimido.....	47
X.	Presión y consumo de aire comprimido de los equipo de Empacadora Toledo, S. A	54
XI.	Listado de accesorios de Empacadora Toledo, S. A	57
XII.	Cantidad y capacidades de los depósitos de aire comprimido de Empacadora Toledo, S. A.....	66
XIII.	Presión generada contra presión en el sistema de distribución.....	72
XIV.	Datos técnicos de secadores de aire	78
XV.	Caudal fugado para diferentes presiones de aire y tamaño de orificios.....	83
XVI.	Datos para fórmula de caudal fugado	88
XVII.	Cálculo de promedio de tiempos en carga-vacío.....	88
XVIII.	Pérdida de presión por caudal	91
XIX.	Cantidad de derivaciones por diámetro de tubería	91
XX.	Longitud equivalente de accesorios en metros.....	92
XXI.	Factores de pérdida de presión debida a la fricción en la Tubería ..	96

XXII.	Servicio de mantenimiento a compresores de aire	104
XXIII.	Servicio de mantenimiento a secadores de aire comprimido.....	106
XXIV.	Código de ubicaciones dentro de planta.....	113
XXV.	Coordenadas de colores de tubería según DIN-2403.....	114
XXVI.	Colores indicativos para transporte de tubería según DIN-2403.....	115
XXVII.	Listado de equipos con grado de utilización y factor de simultaneidad.....	118
XXVIII.	Materiales para la propuesta de modificación de la red de aire comprimido	123
XXIX.	Rutina y tareas de mantenimiento preventivo para las unidades compresoras de aire.....	124
XXX.	Rutina y tareas de mantenimiento preventivo para secadores de aire.....	125

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cant	Cantidad
VL	Cantidad de aire perdido por la fuga
Vm	Caudal medio
dB	Decibeles
DE	Diámetro exterior
d	Diámetro interior
Gal	Galón
°C	Grados centígrados
°F	Grados fahrenheit
kPa	kilo Pascales
kg/cm²	kilogramo por centímetro cuadrado
psi	libras por pulgada cuadrada
Lequiv	Longitud equivalente
m/min	metros por minuto
No	Número
LV	Pérdida de aire comprimido
ΔP	Pérdida de presión
%	Porcentaje
Plg	Pulgadas
T	Temperatura
Vdep	Volumen de depósito

GLOSARIO

Adsorción	Proceso que tiene lugar por la acción de fuerzas físico químicas y se basa en la retención en la superficie de un sólido, Carbón activo, de las moléculas que hay en disolución fluido.
Aire húmedo	Se dice aire húmedo, cuando su composición presenta un porcentaje apreciable de vapor de agua. Generalmente el aire atmosférico es un aire húmedo.
Caída de presión	La diferencia de presión existente entre dos puntos de una tubería de aire comprimido.
Capacidad	Es la cantidad de aire libre, realmente, aspirado por un compresor.
Caudal	Medida de un volumen medido en un tiempo dado.
CFM	Por siglas en inglés, pies cúbicos por minuto
Condensado	Agua en estado líquido separada del aire comprimido como producto de un descenso significativo de temperatura del mismo.

Duración de conexión	Tiempo durante el cual una o varias unidades consumidoras neumática (actuadores) está en funcionamiento. En sistemas automáticos, los cilindros neumáticos, sólo se activan durante un porcentaje determinado del ciclo de trabajo.
Factor de simultaneidad	Valor empírico que expresa la probabilidad que en una red de aire comprimido esté en funcionamiento una determinada cantidad de unidades consumidoras al mismo tiempo.
Filtro	Elemento que sirve para remover distintos tipos de sustancias del aire.
Fuga	Pérdida de aire comprimido por falta de estanquidad en la red o debido al desgaste de los equipos neumáticos
Neumática	Parte de la física que trata de la propiedad de los gases. Principalmente aire, utilizado como portador de energía o de señales.
Presión	Son los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. La fuerza puede ejercerla un sólido, un líquido o un gas. $P = \text{fuerza} / \text{área}.$

Presión normal	En la neumática industrial, la presión entre 3 y 10 bar (presión de trabajo o de mando).
Punto de rocío	Temperatura a la cual el vapor (100 por ciento humedad) comienza a condensarse y depositarse como un líquido.
SCFM	Por siglas en inglés, pies cúbicos por minuto estándar
Temperatura	Grado de calor o frío medido por un termómetro.
Tubería de distribución	También se llama tubería de alimentación. Se trata de la tubería que atravesando un espacio determinado, transporta aire comprimido hasta el lugar de consumo. Las tuberías de distribución son, por lo general, tuberías circulares.
Volumen	Dimensión de un cuerpo o espacio ocupado por un cuerpo; está dado en mm ³ , cm ³ y m ³ .

RESUMEN

El aire comprimido es un tipo de energía de mucha importancia para el proceso de producción en Empacadora Toledo, S. A, éste se utiliza para accionamientos de equipos, maquinarias de producción y aún más importante para la higiene y sanitización de los mismos.

El presente trabajo es una evaluación y análisis para el reacondicionamiento de la red de distribución de aire comprimido, constituido en la etapa inicial por un conocimiento a los datos históricos de la empresa.

En la segunda etapa, se encuentra información científica y teórica de cada uno de los elementos que intervienen en la construcción de la red de distribución de aire comprimido como funcionamiento, aplicaciones y capacidades desde el inicio en la generación como la aspiración de aire húmedo a presión atmosférica hasta la distribución y entrega del aire comprimido. En esta etapa también se incluye el servicio de mantenimiento actual del sistema del aire comprimido.

En la tercera y cuarta etapa se realiza la evaluación y el análisis de la situación actual del sistema de distribución del aire comprimido, comparando los datos teóricos-científicos contra un estudio de calidad de energía, el estudio de energía se realiza en una semana cualquiera y representativa para la operación normal del proceso de producción y una fusión de los datos del sistema.

La información obtenida por el estudio realizado, se analiza y se desprende de ella una serie de observaciones y recomendaciones. Cada una de las recomendaciones pueden aportar una mejora en el sistema de distribución como la fabricación de un depósito con mayor capacidad, cierre de circuitos de aire comprimido o el reacondicionamiento de las unidades compresoras, pero el cambio en su totalidad será aún más significativo.

OBJETIVOS

General

Evaluar el sistema completo de aire comprimido para establecer las oportunidades de mejora, identificando, clasificando y ordenando los accesorios en un diseño ideal para Empacadora Toledo, S. A., planta Amatlán.

Específicos

1. Describir el sistema de aire comprimido por medio de la elaboración de planos en AutoCAD de la planta.
2. Identificar deficiencias (pérdidas por accesorios y fugas) en la instalación del sistema de aire comprimido.
3. Identificar los accesorios propios de la red de distribución.
4. Proporcionar información de los accesorios de la red de distribución.
5. Clasificar los accesorios por tipo, función y ubicación.
6. Proporcionar información de los principios de generación, manejo y operación del aire comprimido.
7. Integrar las diferentes áreas de la ingeniería mecánica que son esenciales en la evaluación del sistema de aire comprimido.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria alimenticia (y en cualquier otro tipo de industria) el sistema de aire comprimido, es de suma importancia ya que la mayoría de los equipos lo utilizan para efectuar sus operaciones, ya que este fluido tiene la cualidad de poder efectuar movimientos a través de una serie de accesorios que debidamente coordinados realizan un trabajo deseado.

Para que los equipos funcionen eficientemente, el aire comprimido debe de llenar una serie de requisitos, por ejemplo: ser libre de impurezas como agua y partículas (basura), ser transportado de una manera adecuada (bajo un diseño ideal y hermético) y ser económico, este concepto se basa en que el desperdiciar el aire comprimido es desperdiciar dinero.

El análisis de este estudio se basará en las unidades de generación, en los sistemas de tratamientos del aire, diagramas de transporte y distribución y que identifique cada válvula, unidad de mantenimiento, trampa de condensado y demás accesorios para alargar la vida útil y mantener la sistema de aire comprimido en buenas condiciones de operación para bajar costos de cambio de accesorios y generación.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Empacadora Toledo pertenece a un grupo de empresas líderes en Guatemala. Actualmente cuenta con granjas de inseminación, crianza, rastro y una planta de proceso industrial posterior de alimentos cárnicos y una distribuidora central para el país en general.

1.1. Antecedentes históricos de Empacadora Toledo, S. A.

Empacadora Toledo S. A., inició sus operaciones en 1972 con la idea de formar una empacadora de carnes proyectada a satisfacer la demanda local e internacional. En septiembre de ese año fueron inauguradas las instalaciones ubicadas en Calzada Aguilar Batres, municipio de Villa Nueva, dando principio a una nueva fuente de trabajo orgullosamente guatemalteca.

Durante la década de los 80's se consolidó la venta de los productos Toledo, atendándose los segmentos de supermercados, mercados, rutas populares e institucionales, tanto en la ciudad como en interior de la república. Para finales de los 90's las exportaciones a El Salvador y Honduras, Toledo se consolida como marca líder a nivel nacional y reconocida por la calidad de sus productos a nivel regional.

Lo que inició hace 35 años como una empresa empacadora de carnes, ha evolucionado el día de hoy. En 2007, se cuenta con una Planta Procesadora de Alimentos con 9 500 metros cuadrados de construcción con capacidad aproximada de 50 millones de libras anuales.

1.1.1. Localización geográfica de Empacadora Toledo, S. A.

Empacadora Toledo, S. A., inicia operaciones en la ciudad capital, luego por necesidad en sus operaciones, se traslada hacia el municipio de Amatitlán aproximadamente a 29,5 kilómetros hacia el sur del país, en la 1ª. Avenida 10-31, Barrio El ingenio, Amatitlan.

Figura 1. Ubicación geográfica Empacadora Toledo, S. A.



Fuente: mapa de *Google Eart*. Consultado: 06/3/12.

1.1.2. Toledo, como miembro de DIPCMI

Corporación Multi-Inversiones (CMI) decide unificar esfuerzos con sinergia entre las empresas hermanas: Avícola Villalobos, Avícola Salvadoreña, Aliansa, CADECA y Empacadora Toledo; creando la División Industrial Pecuaria (DIP). De esta manera se inicia una nueva etapa para afrontar el crecimiento a nivel regional.

1.1.3. Misión y visión

Misión: “somos la división industrial pecuaria de la Corporación Multi-inversiones, que con sinergia y vivencia de nuestros valores, opera con efectividad para la satisfacción de quienes pertenecemos a ella, de nuestros inversionistas y nuestros clientes.”

Visión: “conseguir la sinergia de todas nuestras operaciones para consolidarnos y mantenernos como la división industrial pecuaria más grande y rentable en el mercado Mesoamericano y del caribe.”

1.1.4. Valores

“Humildad: conocemos y aceptamos nuestras debilidades y fortalezas, aceptamos a nuestras autoridades y servimos a los demás.

Liderazgo: orientamos a los demás en lo que queremos hacer y lo hacemos juntos, somos siempre los mejores.

Efectividad: siempre buscamos hacer las cosas de la mejor manera y a tiempo.

Creatividad: creamos e innovamos productos y procesos exitosos.

Compromiso: actuamos siempre de la mejor manera para lograr nuestros objetivos y los de la empresa.

Integridad: actuamos con rectitud y cumplimos de forma correcta lo que prometemos.

Lealtad: somos fieles a nuestras relaciones con las personas de la empresa y los objetivos de la misma.

Responsabilidad social: contribuimos con nuestra sociedad para su cuidado, crecimiento y desarrollo.

Ética: cumplimos, respetamos y vivimos nuestros valores.”

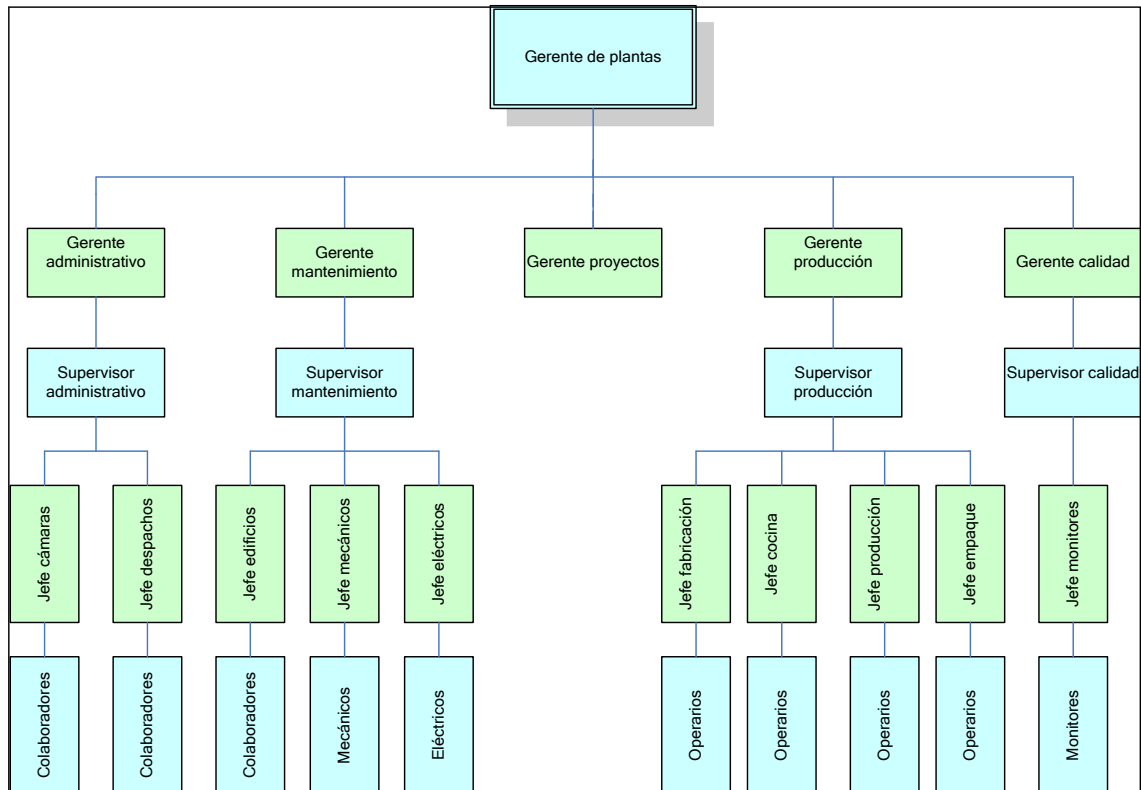
1.1.5. Estructura organizacional

Empacadora Toledo, S.A., cuenta con un equipo de personas con especialidad en cada una de las tareas logísticas y técnicas que conlleva el tipo de industria para que con calidad se pueda realizar cada una de ellas.

1.1.5.1. Organigrama

A continuación se representa gráficamente la estructura de Empacadora Toledo, S. A., en la que se pueden apreciar los niveles de jerarquía y la relación entre ellos.

Figura 2. Organigrama de Empacadora Toledo, S. A.



Fuente: Empacadora Toledo, S.A.

1.2. Departamento de Conservación Industrial

Cuenta con un gerente, encargado de velar por el cumplimiento de la Visión y Misión establecida por el departamento, dos supervisores asistidos cada uno por un asistente que atienden dos áreas equitativamente balanceadas para darle seguimiento a la estrategia de mantenimiento, jefes de grupo y colaboradores, son las personas que divididas en grupos de trabajo especializados atienden las diferentes aplicaciones de la industria.

1.2.1. Misión y visión

Misión: “somos un equipo de trabajo multidisciplinario, competitivo, motivado y comprometido que administra la Conservación Industrial de las áreas productivas y de apoyo de la planta de procesamientos posterior de Empacadora Toledo, S. A., para garantizar una alta disponibilidad de los activos, acorde a los objetivos de producción y calidad de la empresa, se cuenta con personal capacitado y proactivo, para un sistema de gestión de mantenimiento de clase mundial. El principal propósito es optimizar los recursos de mantenimiento, para mejorar las utilidades de los accionistas, impulsar el desarrollo profesional y el bienestar económico de los colaboradores y la protección integral del medio ambiente.”

Visión: “consolidarnos el Departamento de Conservación Industrial que, aplicando la tecnología, recurso humano y la pro-actividad, sea el modelo de efectividad de clase mundial de DIP.”

1.2.2. Responsabilidades de mantenimiento

- Mantener el correcto y continuo funcionamiento de los equipos, sub-equipos y equipos auxiliares de la planta.
- Aprovechar las oportunidades de mejora para optimizar los recursos de la empresa.
- Utilización de herramientas que brinda el mantenimiento de clase mundial, tecnología, experiencia y pro-actividad de los miembros de Conservación Industrial, para establecer indicadores de mantenimiento.

1.3. Herramientas de Conservación Industrial


La estrategia de gestión de mantenimiento obliga a llevar controles, registros e indicadores en los cuales se puedan apreciar indicadores visuales, datos históricos y documentación de hechos que apoyen a solventar y evitar futuras situaciones no deseadas en beneficio del mantenimiento, las herramientas principales se deben actualizar diariamente por una persona específica, que sea la responsable de retroalimentar los formatos y de capturar la información.

1.3.1. Diagrama de Pareto de fallas

Bajo el concepto principal del Diagrama de Pareto, si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20 por ciento de las causas resuelven el 80 por ciento del problema, y el 80 por ciento de las causas solo resuelven el 20 por ciento del problema. Con esto se pueden priorizar los problemas o las causas que los generan y de esta manera utilizar los recursos necesarios para llevar a cabo una acción de mejora, sin malgastar esfuerzos, ya que con el análisis se descartan las mayorías de fallas.

Cada uno de los talleres de mantenimiento de Conservación Industrial, lleva el registro de las emergencias que se atienden durante los turnos, donde se describe: el tipo de falla, tiempo y equipo. Y a partir de esta información se puede realizar el Diagrama de Pareto, para identificar equipos que son repetitivos en fallar, tipo de falla recurrente y tiempo que conllevan en reparar. Véase tabla 1.

Tabla I. Formato empleado para reporte de fallas



EMPACADORA TOLEDO
CONSERVACION HERRAMIENTAS
EMBIJADOS JAMONES.
 Embarcación

ORDEN DE FALLAS

Fecha	Turno	Codigo	Maquina	Area	Sub-areas	Tipo falla	Causa del problema	Hora de falla	Hora arranque	Numero de quejas reportadas	Tiempo
01/06/11	D	DA4-002	Torniller 4100	Jamones	Fabricación	3	Máquina no arranca	07:20	07:40	0	30
02/06/11	D	DA4-005	Detector de metal	Jamones	Producción	3	Pantalla se apaga y se reinicia	12:25	12:45	0	30
06/06/11	D	TO-002	HL 17	Sachcha	Producción	3	Caja de proceso no funciona	14:00	10:00 07/06/2011	Cruz/Osmy/Lobo	1000
07/06/11	D	EG-004	Vermag HP 10	Sachcha	Producción	3	Máquina empuja sola sin reconocimiento	07:00	13:20	Cruz/Jarael	350
09/06/11	D	CO-003	Vermag TM 203	Sachcha	Empaque	3	Falla guarda de seguridad	15:50	16:50	Lobos/Jarael	60
09/06/11	D	FD-002	Fabricadora Feliza	Sachcha	Fabricación	14	Venas blancas de carne	11:00	11:30	Mayra	30
10/06/11	D	SC-003	Soplador Digital	Jamones	Empaque	4	Burgata rota	08:00	10:30	Mayra	150
10/06/11	D	CG-006	Tipper 16	Jamones	Producción	3	Calibración sensor	08:00	08:30	Cruz	30
11/06/11	D	SV-003	Multitric R 5200	Sachcha	Empaque	3	Temperatura inadecuada	09:30	11:00	Mayra	120
11/06/11	D	SM-002	Selladora de banda	Sachcha	Producción	3	Teflon dañado	09:00	11:00	Mayra	120
11/06/11	D	EL-011	Elevador MTC	Sachcha	Cocina	3	Pulsador dañado	07:00	08:00	Jarael	60
11/06/11	D	CG-002	Tipper 16	Jamones	Producción	3	Cables dañados	09:30	10:30	Jarael	120
13/06/11	D	EG-002	Vermag HP 16	Jamones	Producción	3	Pantalla apagada	07:15	07:20	Lobos/Mayra	15
13/06/11	D	FC-011	Image 9020	Jamones	Empaque	3	Pantalla apagada	07:45	15:00 14/06/2011	Jarael	1875
13/06/11	D	EG-002	Vermag HP 16	Jamones	Producción	3	Pantalla apagada	14:20	17:12	Lobos/Jarael	172
14/06/11	D	FC-007	Image 9020	Jamones	Empaque	3	Impresión defectuosa	08:30	09:00	Cruz	30
14/06/11	D	EG-002	Vermag HP 16	Jamones	Producción	3	Pantalla apagada	07:00	12:15	Lobos/Cruz	315
15/06/11	D	SB-003	Serra Bico	Sachcha	Fabricación	14	Máquina no conectada	07:30	07:45	Mayra	15
17/06/11	D	SV-007	Multitric R 530	Sachcha	Empaque	14	Programa equivocado	11:00	11:30	Mayra/Cruz	30
20/06/11	D	FC-008	Image 9020	Jamones	Producción	3	Chorro linea desviado	08:00	27/06/2011 19:00	ESPASA	2040
20/06/2011	D	DM-003	Detector de metal	Jamones	Empaque	4	Posición de aire muy baja	08:00	09:00	Lobos	60
20/06/2011	D	EG-006	Handform	Sachcha	Producción	3	Pantalla se apaga y se reinicia	15:00	16:00	Mayra/Osmy	60
20/06/2011	D	CU-001	Collar 500	Jamones	Fabricación	3	Temperatura inadecuada	15:00	16:30	Lobos	60
22/06/2011	D	FC-007	Image 9020	Jamones	Producción	3	Impresión defectuosa	10:00	10:30	Tecun	30
22/06/2011	D	FC-007	Image 9020	Jamones	Producción	3	Impresión defectuosa	12:00	12:30	Tecun	30
22/06/2011	D	FC-007	Image 9020	Jamones	Producción	3	Impresión defectuosa	16:00	18:00	Tecun	120
23/06/2011	D	EG-002	Vermag HP 16	Jamones	Producción	3	Pantalla se apaga y se reinicia	10:50	11:50	Cruz	60
23/06/2011	D	ME-003	Miscelánea Antel	Sachcha	Producción	3	Puntas por rasgar	09:30	10:00	Cruz/Cruz	30
23/06/2011	D	SV-007	Multitric R 530	Sachcha	Empaque	3	Sensor de seguridad dañado	16:30	19:50	Jarael/Lucas	60

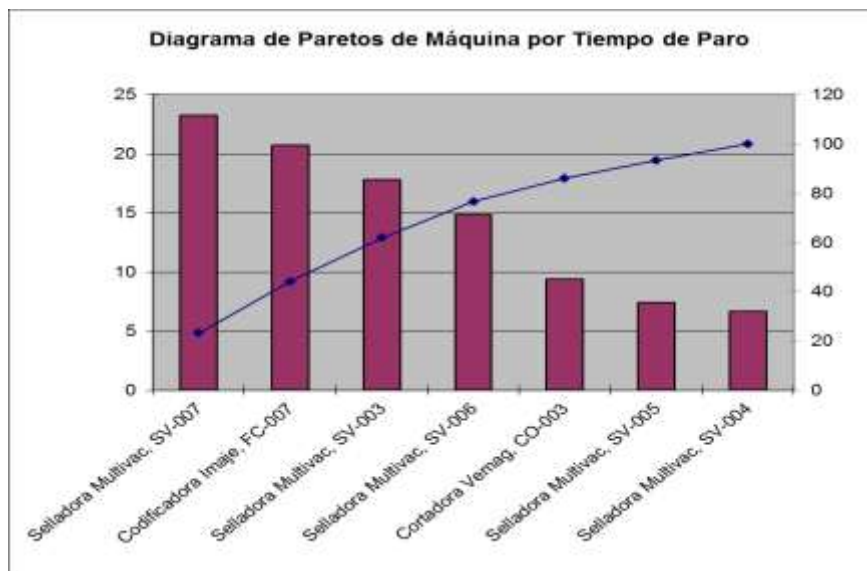
Fuente: Empacadora Toledo, S.A.

Tabla II. Diagrama de Pareto por cantidad de horas de paro por fallas

Máquina	Horas de paro	Porcentaje	% acum.
Selladora, SV-007	3,9	23,2	23,2
Codificadora, FC-007	3,5	20,7	44,0
Selladora, SV-003	3,0	17,8	61,8
Selladora, SV-006	2,5	14,8	76,6
Cortadora, CO-003	1,6	9,4	86,0
Selladora,SV-005	1,3	7,4	93,4
Selladora, SV-004	1,1	6,6	100,0
Total	16,9	100	

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

Figura 3. Gráfica de diagrama de Pareto por cantidad de horas de paro por fallas



Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

1.3.2. Indicadores de disponibilidad y confiabilidad

Este tipo de indicadores se llevan a cabo en el Departamento de Conservación Industrial, para el control mensual de la disponibilidad y confiabilidad de cada uno de los equipos. Éste surge del mismo formato de fallas con que se calcula el diagrama de Pareto. La intención es demostrar el tiempo total del equipo en un mes, el equipo debe de estar lo más cercano posible al 100 por ciento dispuesto y confiable, para garantizar que el proceso de producción pueda realizarse sin contratiempos por parte de mantenimiento.

En la página siguiente se muestra la tabla III, en la cual se pueden apreciar los tiempos que intervienen en el cálculo de las disponibilidades y confiabilidades de los diferentes equipos críticos que se poseen en la empresa.

1.3.3. Mejora continua

Es una serie de reuniones que buscan evaluar el aprovechamiento máximo de un proceso de producción o servicio de mantenimiento, algunas de las evaluaciones más críticas que se realizan, es la modificación correctiva de un equipo para aprovechamiento de una u otra función extra, aunque esto incluya el alterar su funcionamiento principal y/o modificación preventiva que busca la implementación de planes nuevos de mantenimiento preventivo o formatos de control, con el fin de evitar una situación no deseada.

1.3.4. Reuniones periódicas

En la rutina diaria o semanal se tiene contemplada, según la criticidad del taller, reuniones periódicas, con el fin de tratar temas que surgen día a día como emergencias y/o programar servicios de mantenimientos correctivos, anuales o mayores, temas de interés para la realización de los servicios como solicitud de repuesto, tiempos requeridos para ello. Para control interno estas reuniones se documentan en una minuta o bitácora electrónica que orientan sobre los temas que se tratan, responsables, fechas estimadas. Véase tabla IV.

Tabla IV. Formato de reuniones diarias con equipos de mantenimiento

EMPACADORA TOLEDO, S. A. Conservación Industrial Bitacora reunión diaria talleres 2.012. Instrucciones: Se debe de realizar una revisión los Lunes de cada semana y 10 de cada mes revisar TODO									
N°	FECHA	AVISO/QUEJAS	PROBLEMA / TEMA	ACCIÓN A REALIZAR	Responsable	Fecha propuesta	OT asignada	STATUS	OBSERVACIONES
Código: Finalizado Pendiente Trámite									
1	01/01/2012	1	Varios cortes de energía eléctrica durante el sábado 31/01/11 de noche y el 01/01/12, durante	Se atendió los televisores, lograz, Lujal y Eticon	Eticon	31/01/11 y 01/01/12	Planificador genera OT	E	Ya atendió tanto de llamado ignaz y Mroz
2	01/01/2012	SV-006	Plancha de 12 unidades de Multicoz R530 de Empresa de Sachicha se está quemando	Realizar un servicio de Limpieza y MP	Eticon y Emayen	02/01/2012	Ya existe OT	MP	Se entregó en turno nocturno, se escucho un (falla) ignaz uno y un mesero quebrado
3	01/01/2012	SV-002	Plancha de sellado reparada (reforzada) en Sarnep	Probar plancha en Multicoz R5300	Eticon y Emayen	02/01/2012		MC	
4	01/01/2012	CE-017	Lampara de Cámara de Submota de sachicha tiene agua	Se escucho el llamado de la lampara	Eticon	02/01/2012			Se reportó el sábado 31 de DIC. 2011 pero no se pudo atender por falta de repuestos
5	01/01/2012	HV-001	Unidad de Mantenimiento de Horno Fossman No. 1 tiene una fuga de aire	Tomado del filtro de humedad esta buena	Emayen	02/01/2012	Planificador genera OT	ME	Se cambio la Unidad de Mantenimiento por una repuestos en taller
6	01/01/2012	SV-004	Se armo cajón reparado por Grupo Amy y se probó el 30/12/11	Financiamiento del cajón debidamente por ajuste del empuje de silicona (se cambió después de varios cortes)	Emayen	02/01/2012		MC	
7	01/01/2012	MF-004	Juego de corte del Molino CFS, ya no tiene filo	Llamada Grupo AM para informar	Emayen	02/01/2012		MC	
1	03/01/2012	HV-002	Horno Fossman No. 2, se apagó y se encendió	Solicitar a Multicoz, afinar el sistema de corte	Eticon	03/01/2012	Planificador genera OT	ME	
2	03/01/2012	FC-008	Cuadrador línea #120 que estaba en Eticon la entregaron ayer 02/01/12	Atender emergencia, ignaz	Eticon	03/01/2012	Ya existe OT		La entrega que Hansel Martínez a las 11:00 hr.
3	03/01/2012	HV-003	Servicio de MP al Avanzador del Horno Fossman No. 3	Realizar un servicio de MP	Eticon	03/01/2012	Ya existe OT	MP	Abordó servicio Mrazay y Lujal
4	03/01/2012	1	Revisión de reports de termografía	Se debe de preparar la revisión y reparación de 8 (ocho) unidades, con prioridad el taller de la Cámara Faltan, por que esta muy caliente (consultar con SIDAUSA)	Eticon y Vireja	03/01/2012	Planificador genera OT	MC	Se debió de consultar a Ota Salazar por opción de atender el calor con algún tipo de refractario
5	03/01/2012	EG-002	Emulsador Vireja HP15 sobre la goma de la toba contaminada (color negro)	Revisar si los sellos están en buen estado y verificar fecha de último servicio	Emayen	03/01/2012			Dar seguimientos a reporte nocturno
6	03/01/2012	OS-002	Válvula con oxido en la manivela en el depósito de salmuera de Inyectores Marabuma	Se pudo pero se debe de cambiar válvula, se solicitó en el detalle de compra de la Servanta No. 1	Emayen	03/01/2012	Ya existe OT	MC	
7	03/01/2012	CU-001	Válvula del tanque de recirculación de agua del Cutler SML, Presenta oxido	Se pudo y se gano	Emayen	03/01/2012	Ya existe OT	MC	
8	03/01/2012	EH-001	Emulsadora de hilo de producción de jirones presenta oxido	Se pudo y se gano	Emayen	03/01/2012	Ya existe OT	MC	
9	03/01/2012	CU1	Reductor de Cutler SML, De Planta de CU-011 ya lo repuso Eibetta Piroz	Ya se finalizó la reparación y se encajó (pero aún no está)	Piroz	03/01/2012			
1	04/01/2012	CF-011	Cámara Filtro con problemas de bobos conectados en las unidades de los tubos de alta potencia	Se ajustaron guías, apretaron bonos	Eticon	04/01/2012	Planificador genera OT	ME	Se atendió emergencia en turno nocturno, realizado por Eibetta
2	04/01/2012	FC-005	Cuadrador línea #120 de Sachicha, la hecho falta un tornillo que sujeta el cabezal	Se reportó, pero no se sabe que pasó con el anterior	Eticon	03/01/2012			
3	04/01/2012	HV-005	Servicio de Calibración Trimestral de Horno Mazon	Conectar a los indios para calibración	Vireja	04/01/2012	Ya existe OT	MC	

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Actualmente, la industria alimenticia (y en cualquier otro tipo de industria) el sistema de aire comprimido es de suma importancia, porque la mayoría de los equipos lo utilizan para efectuar sus operaciones, ya que este fluido tiene la cualidad de efectuar movimientos, a través de una serie de accesorios que debidamente coordinados realizan un trabajo deseado.

2.1. Propósito y métodos de la compresión de aire

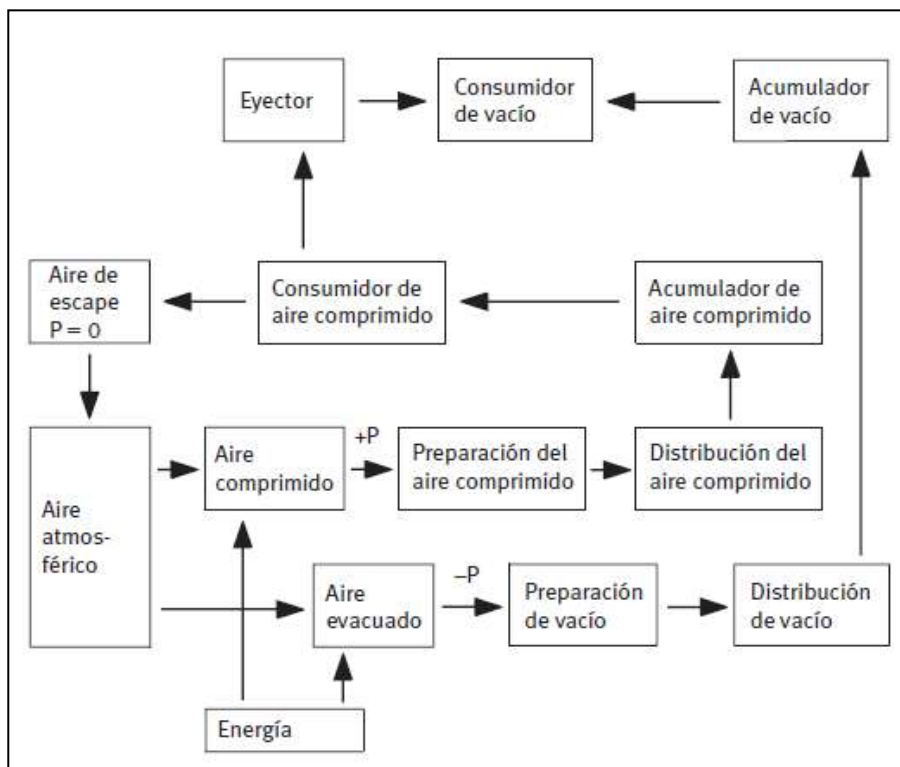
Para que los equipos funcionen eficientemente el aire comprimido debe de llenar una serie de requisitos, por ejemplo: ser libre de impurezas como agua y partículas (basura, polvo, óxido). Ser transportado de una manera adecuada bajo un diseño ideal y hermético y ser económico. Este concepto se basa en que el desperdiciar el aire comprimido es desperdiciar dinero.

2.1.1. Propósito de la compresión de aire

La mayoría de las empresas industriales disponen actualmente de una red de aire comprimido, para utilizar numerosas máquinas y diversos actuadores. El actuador más difundido es el cilindro neumático, empleado para ejecutar movimientos. Pero para que el aire contenga energía, primero hay que transferirle energía. Para ello se utilizan compresores. Hay muchos tipos de compresores: helicoidales, de membrana, rotativos, tipo Roots, de espiral, de turbo compresión, lubricados o secos, con inyección de agua, con refrigeración de aire o agua, etc. Pero el compresor no es más que la primera estación.

El uso de presión y vacío también se puede entender como un sistema de proceso continuo, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. **El aire comprimido, en calidad de fuente de energía, incluido en un circuito de proceso industrial continuo**

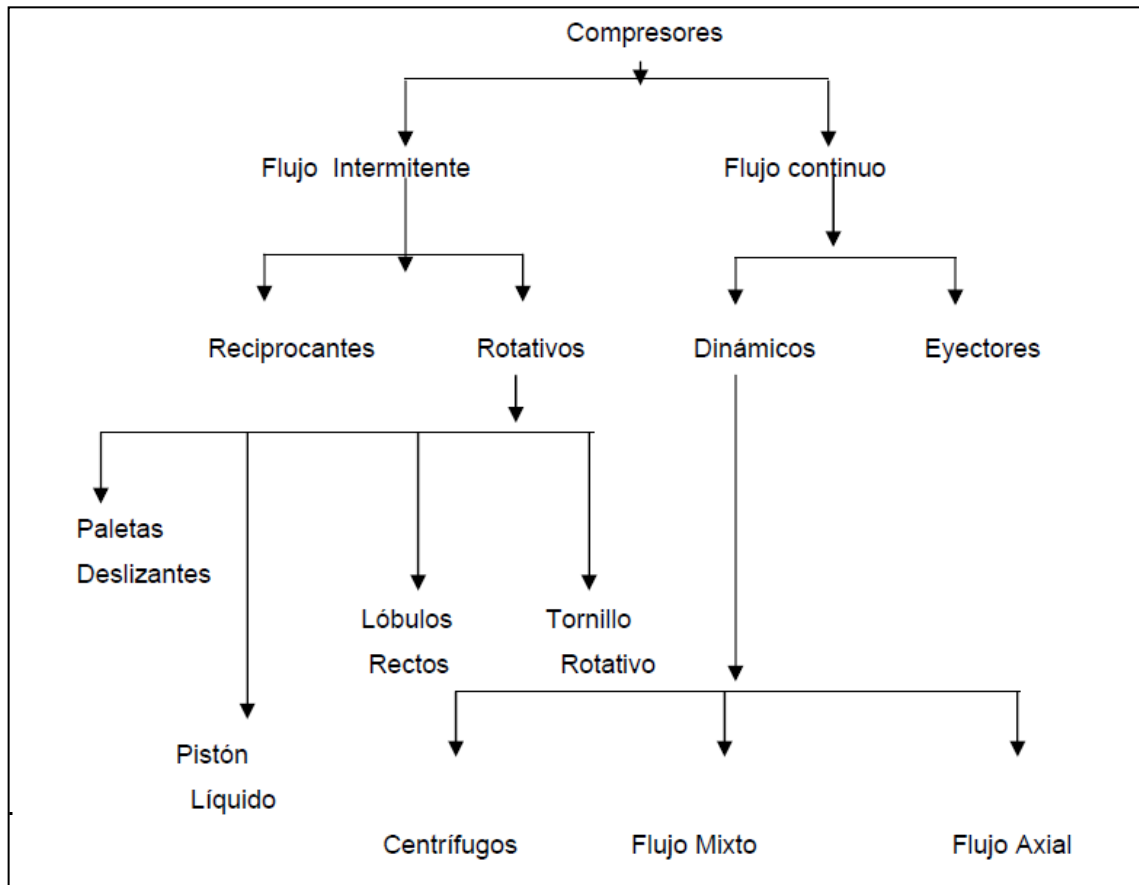


Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía. p. 10.

2.1.2. Métodos de la compresión de aire

Los compresores trabajan por dos tipos básicos de funcionamiento (intermitentes y continuos) utilizando como principio fundamental el proceso Politrópico (proceso que no es isotérmico ni adiabático).

Figura 5. **Clasificación de compresores**



Fuente: Ingersoll-rand. Manual del profesional del aire comprimido. p. 46.

2.1.2.1. **Flujo intermitente**

Poseen un sistema de compresión mediante el cual se obtiene presión alterando el volumen del aire atmosférico. Los compresores que conforman este grupo, concentra el aire en un recinto hermético, lo comprimen en un espacio de menor volumen y luego lo transportan a otro recipiente para almacenarlo.

En este grupo se ubican los reciprocantes y los rotatorios.

Reciprocantes o alternativos; reducen volumen provocando un aumento de presión que es proporcional al aumento de la temperatura, desde el punto de vista físico y mecánico, el funcionamiento de estos equipos es muy sencillo y se basa en el principio de desplazamiento del aire en tres tiempos (admisión, compresión y descarga) y pueden llegar a generar hasta 8 bares (117 psi). Algunos de los compresores de este tipo son: de pistón y de diafragma.

Rotatorios; son equipos que pueden manejar volúmenes de aire considerables (3 000 CFM) y presiones de trabajo hasta 20 bares (305 psi), estos trabajan con dos rotores que giran en una carcasa y sus componentes están montados con holguras o tolerancias muy pequeñas que garantiza la compresión del aire con flujos axiales.

2.1.2.2. Flujo continuo

El sistema de compresión dinámica convierte energía cinética (velocidad) en presión. Utiliza energía para desplazar a alta velocidad, un determinado volumen de aire, que luego es bruscamente es acelerado, lo que aumenta la presión de la masa. Este tipo de compresor es ideal para obtener grandes volúmenes de aire, a presiones de hasta siete bares. Compresores que utilizan este funcionamiento, se tiene: compresores axiales y radiales o una combinación de los anteriores.

2.2. Filtración del aire comprimido

Durante el proceso de intercambio de energía al aire, es de vital importancia que el aire sea filtrado, para obtener un aire limpio libre de impurezas principalmente para alargarle la vida útil de los equipos y accesorios que utilizan el aire comprimido, por ejemplo: compresor de aire, válvulas y cilindros neumáticos.

También es importante que el aire sea filtrado según sea el campo de la industria donde se requiere, como por ejemplo, la Industria Alimenticia y la Farmacéutica, ya que el aire puede entrar en contacto directo con los diferentes tipos de producto.

2.2.1. Fundamentos del filtrado de aire

En su definición más sencilla, el filtro es un dispositivo que elimina partículas sólidas, como por ejemplo, polvo, polen y bacterias del aire. La contaminación se adquiere en el mismo momento en que se genera el aire comprimido, el aire atmosférico es un gas incoloro, inodoro e insípido. Está constituido por una mezcla de gases, principalmente nitrógeno y oxígeno, entre otros, también contaminantes que se encuentran de forma natural suspendidos en el aire como: vapor de agua y partículas sólidas (polvo, arena, hollín y cristales de diferentes sales).

La elección del filtro apropiado es fundamental para la calidad del aire. Para obtener aire comprimido de alta calidad, es necesario prever varias fases de filtración. Un solo filtro fino no es suficiente para obtener aire de calidad satisfactoria.

2.2.2. Tipos de filtración

Se puede identificar en el proceso del aire comprimido dos tipos de filtro; el que filtra el aire en el ingreso al compresor de aire y el que filtra el aire comprimido conocidos como post filtros, para obtener un aire libre de impurezas existen diferentes materiales y métodos para el filtrado.

- Filtro de admisión de aire al compresor

Es un elemento de gran importancia, ya que aún el aire más limpio presenta elementos en suspensión (anteriormente mencionado), que si no son eliminados, pueden deteriorar rápidamente los elementos internos del compresor, por ejemplo rayando los cilindros, por consiguiente el paso de aceite de lubricación al aire comprimido, y por otra parte pueden ser causa de depósitos y obturaciones. Dando lugar a situaciones peligrosas.

Estos filtros pueden ser de fibra de vidrio, tela de algodón, papel o papel impregnado, la eficiencia de estos filtros se mide en porcentaje (%) lo que quiere decir que se filtra un porcentaje de todas la partículas.

- Filtro para aire comprimido (post filtros)

Para eliminar las partículas sólidas que hayan logrado pasar el primer filtro de aspiración o que se formen por problemas del propio sistema de aire comprimido (compresor de aire, tubería, condensación de agua o aceites) y por requerimiento de planta, se encuentra este tipo de filtro en una gran variedad de tipos y medidas, todos regulados por la norma internacional referente a la calida de aire comprimido (ISO 8573.1).

El sistema de clasificación existe a partir de los tres principales contaminantes en cualquier sistema de aire comprimido (partículas, agua y aceite). Para determinar el nivel de calidad requerido para una aplicación particular, simplemente indique la clase para cada uno de los contaminantes según la siguiente tabla:

Tabla V. **Tipos de filtro a partir del contaminante**

Clase	Partículas solidas Máximo n° de partículas por m³			Agua Punto de rocío a presión °C	Aceite (incluido vapor) mg/m³
	0,1-0,5 micras	0,5-1,0 micras	1,0-5,0 micras		
1	100	1	0	-70	0,01
2	10,000	1,000	10	-40	0,1
3	-	10,000	500	-20	1
4	-	-	1,000	3	5
5	-	-	20,000	7	-
6	-	-	-	10	-

Fuente: ISO 8735.1.

2.3. Secado del aire comprimido

Es un método alternativo para preparar el aire comprimido, dependiendo del requerimiento de los usuarios finales y de la aplicación del tipo de industria donde se requiera la utilización del aire comprimido.

2.3.1. Importancia del secado

A causa del calor generado durante el proceso de compresión, el aire comprimido sale con un grado de saturación del 100 por ciento en la mayoría de los casos, al ir disminuyendo la temperatura del aire comprimido durante su permanencia en el tanque, pierde capacidad de retener vapor de agua, lo cual genera condensado de agua.

La presencia de condensados en el aire produce diversos problemas tales como corrosión, mal funcionamiento de herramientas neumáticas y actuadores.

2.3.2. Tipos de secado de aire comprimido

El aire que aspira un compresor es una mezcla de aire y vapor de agua (agua en forma de gas). Si el vapor de agua dentro del sistema de aire comprimido se comportara como un gas, semejante al aire, se utilizaría sin otras precauciones. Sin embargo, este vapor puede bajo determinadas circunstancias, pasar de gas a líquido, es decir, agua (bajando la temperatura). Cuando esto ocurre, el vapor de agua se condensa, estos condensados son enormemente perjudiciales.

Si el sistema de aire comprimido alimenta máquinas lubricadas, el agua condensada le quitará las propiedades al lubricante. Con ello se aumentará el riesgo de averías en las mismas.

Otra desventaja es que el condensado puede congelarse en los escapes de los accesorios neumáticos. Esto ocurre con bastante frecuencia, cuando la temperatura del aire comprimido está considerablemente sobre cero, ya que el aire se refrigera cuando sale al exterior (se expande) una vez haya realizado su trabajo en el interior del equipo, el hielo formado en los escapes hace que las máquinas pierdan potencia e incluso llegar a pararse, por eso hay que eliminar el agua de las redes, otra desventaja del condensado de agua es que pueda formarse hielo en las tuberías situadas a la intemperie durante el invierno. Si se elimina el agua, se podrán evitar deterioros en las conducciones.

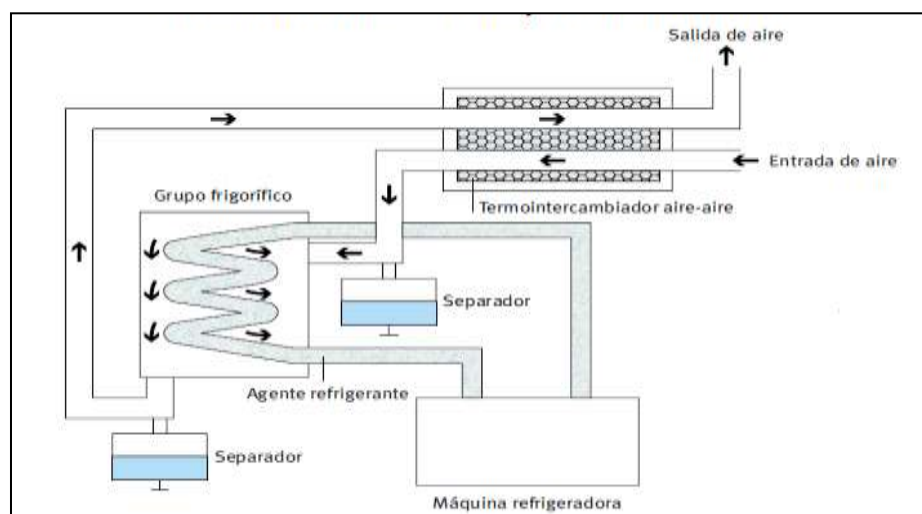
Resulta evidente pues, que es necesario de un refrigerador posterior, que separe el agua condensada, para realizar un buen trabajo en la etapa de compresión de aire.

Existen dos métodos de secado para la eliminación del vapor de agua presente en el aire comprimido; refrigerador y regenerativos.

- Refrigerador o secador de frigoríficos

Consisten en una máquina con un circuito de refrigeración típico que se encarga de enfriar aire por debajo de la temperatura mínima histórica en la red, produciéndose intencionalmente condensados que son retirados, por medio de un separador centrífugo, sólo pueden ser utilizados en sitios donde el punto de rocío sea mayor o igual a 0 grados centígrados, ya que de lo contrario el agua se congela y obstruye la tubería.

Figura 6. **Secado del aire comprimido, secador frigorífico**



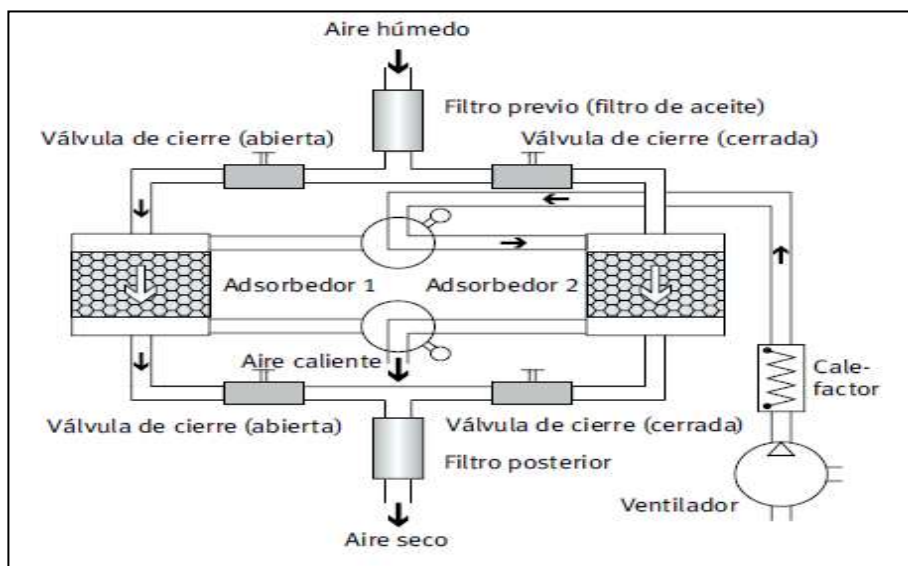
Fuente: Festo, Didactic GmbH & Co. TP101 Transparencia. p. 24.

- Regenerativo o secadores de adsorción

Funcionan bajo un principio diferente que permite alcanzar puntos de rocío por debajo de 0 grados centígrados. Trabajan utilizando materiales desecantes, que son aquellos que tienen la propiedad de adsorber agua, capacidad que se va perdiendo al irse saturando de ésta, que puede recuperar regenerándose, mediante diversos métodos, los cuales dependen del material desecante empleado.

Los secadores de adsorción pueden secar el aire comprimido, hasta un punto de rocío a presión (PRP) de -40 grados centígrados o inferior. Para conseguir un secado continuo, la mayoría de los secadores de adsorción tienen dos torres de desecante en paralelo, una secando el aire comprimido, al mismo tiempo que la otra se regenera normalmente.

Figura 7. **Secado del aire comprimido, secado por adsorción**



Fuente: Festo, Didactic GmbH & Co. TP101 Transparencia. p. 25.

2.4. Sistema de distribución de aire comprimido

El medio de transporte del aire comprimido utilizado normalmente, es un conjunto de tubería y accesorios, de algún tipo de material que dependiendo del medio en el que se encuentre, dimensionamiento, requerimiento de la planta y/o tipo de industria puede ser de algún acero, polímero o una mezcla entre los dos y dispuesto en una configuración que permita movimientos de dilatación y contracción como el aseguramiento de la eficiencia del mismo.

2.4.1. Tipos de sistema de distribución de aire

Existen varias configuraciones de una red de aire comprimido, en una red de aire, el factor importante es el control del agua dentro de la tubería, puesto que los datos de pérdidas, velocidad, presión pueden ser calculados matemáticamente sin dificultad.

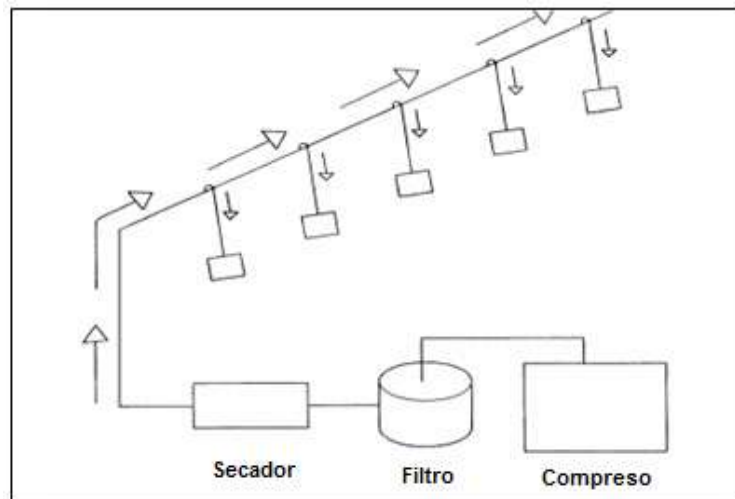
En cambio las zonas de acumulación de agua en una red deben de ser detectadas. Por tal razón, se analizó las posibles configuraciones de una red de aire y se seleccionará al final la más adecuada para satisfacer las necesidades de la empresa.

- Red abierta o ramificada

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la figura 8. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja, además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados tal como se muestra en la figura 9.

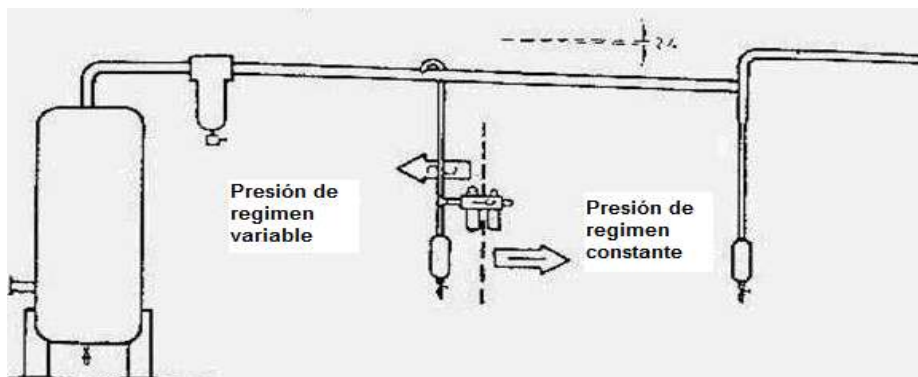
La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento, ante una reparación es posible que se detenga el suministro de aire aguas abajo del punto de corte lo que implica una detención de la producción.

Figura 8. **Circuito de aire comprimido abierto**



Fuente: JUÁREZ PIZZA, Pedro Antonio. Diseño y montaje de sistemas neumáticos. p. 09.

Figura 9. **Pendiente de una red de aire comprimido**



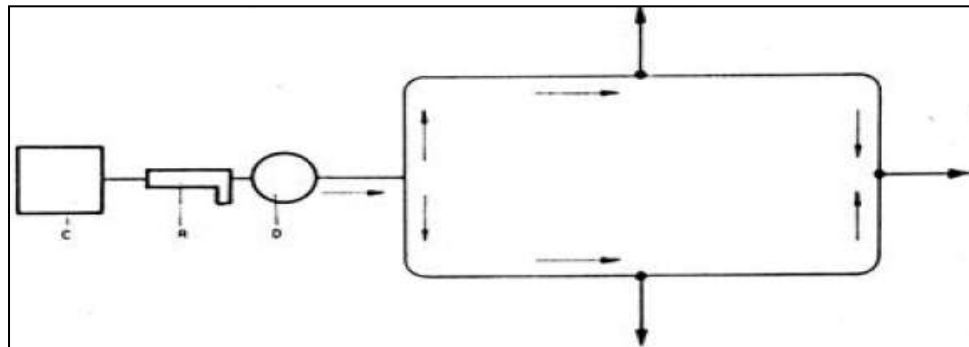
Fuente: CARCINER, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones. p. 224.

- Red cerrada

En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la figura 10. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante, ya que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción, y con este tipo de montaje de la red de aire comprimido se obtiene una alimentación uniforme cuando el consumo de aire es alto. El aire puede pasar en dos direcciones.

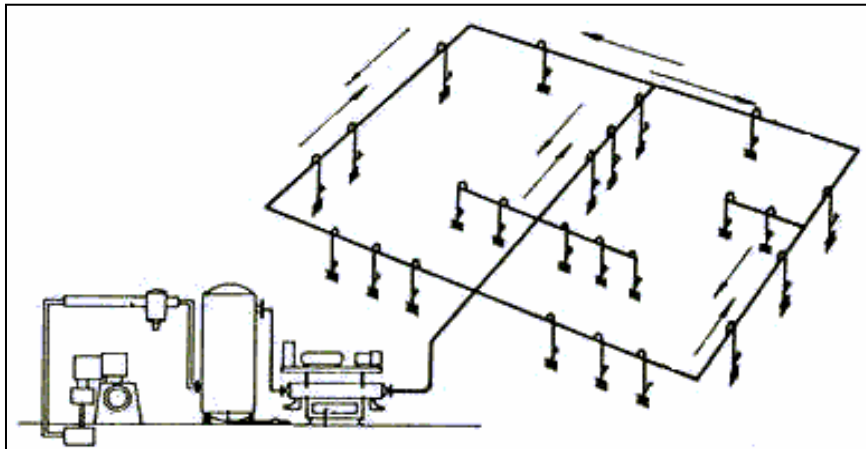
Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto, el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo tal como se muestra en la figura 11. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

Figura 10. **Dirección de flujo en una red cerrada para una demanda característica**



Fuente: CARNICER, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones. p. 223.

Figura 11. **Configuración cerrada y su ausencia de inclinación**

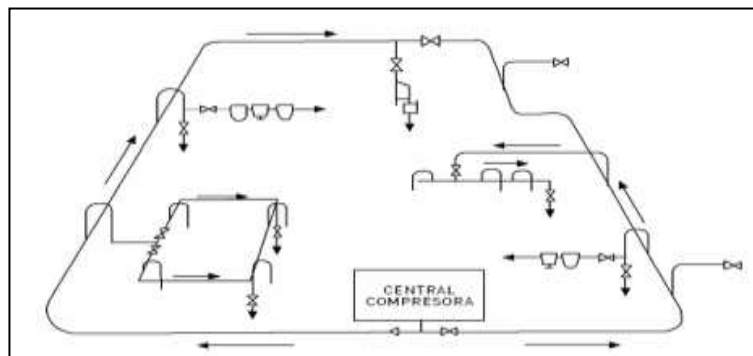


Fuente: CARNICER, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones. p. 224.

- Red combinada o mixta (cerrada-abierta)

Es la más frecuentemente empleada, está formada por circuitos cerrados, de los que parten algunos ramales que no se cierran en sus extremos, véase figura 12.

Figura 12. **Circuito de aire comprimido mixto**



Fuente: JUÁREZ PIZZA, Pedro Antonio. Diseño y montaje de sistemas neumáticos. p. 11.

2.4.2. Accesorios de distribución de aire comprimido

En toda instalación de tuberías, es indispensable la utilización de accesorios. Éstos se utilizan para adaptar la tubería a la forma del edificio y así cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas.

2.4.2.1. Tubería

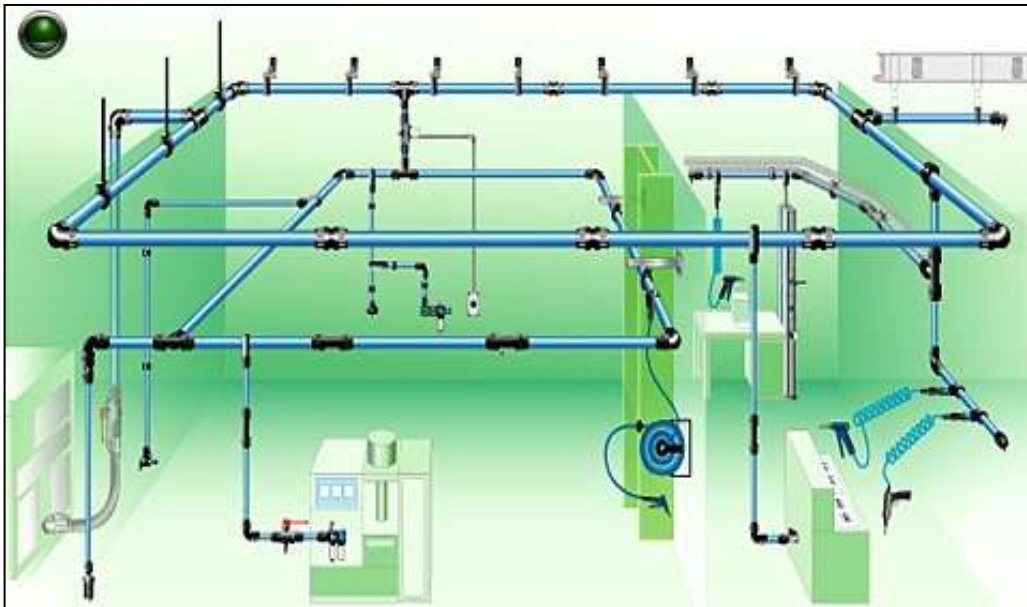
En general, el término tubería se aplica de manera amplia al tubo, accesorios, válvulas y otros componentes que conducen agua u otros fluidos.

Por tubo, se entiende aquellos productos tubulares con dimensiones y hechos con materiales de uso común en conductos y conexiones. Los tubos de presión se emplean para conducir fluidos o gases a temperaturas o presiones normales, debajo de cero o elevadas, o combinaciones de ambas condiciones.

En general no se le sujeta a la aplicación de calor desde el exterior. Los límites de tamaño son desde un tamaño nominal de 1/8 pulgada hasta un 36 pulgadas. Se produce en varios espesores de pared.

La tubería de presión se obtiene en longitudes diversas, con extremos roscados o lisos, según se requiera. El tubo de presión se prueba hidrostáticamente en la fábrica.

Figura 13. **Ejemplo de una red y sus accesorios**



Fuente: http://www.transair-usa.com/SP/sistema_de_tuberias_de_aire_comprimido.php.

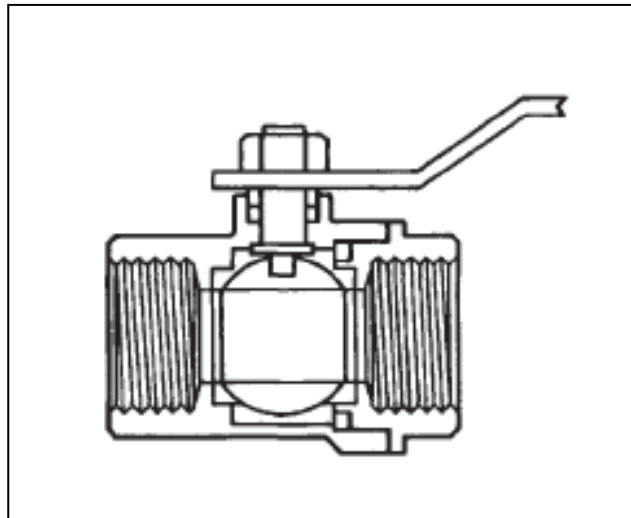
Consultado: 11/09/12.

2.4.2.2. Válvulas

Una válvula es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 300 pies (90 metros) o más de diámetro.

Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20 000 libras/pulgada cuadrada (140 mega pascales) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1 500 grados fahrenheit (815 grados centígrados). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

Figura 14. **Válvula de cuerpo de dos piezas**

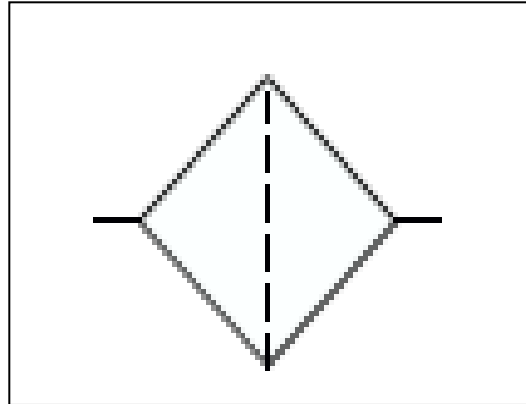


Fuente: NIBCO, Folleto C-VSG-I-0103SP, p. 05.

2.4.2.3. Filtros

El propósito de los filtros de aire comprimido, es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación: como en la admisión al compresor de aire, antes del ingreso a la tubería principal y antes de ingresar a los equipos. Contaminantes tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, sabores y vapores, pueden atacar su sistema.

Figura 15. **Símbolo neumático de filtro**



Fuente: Festo, Didactic GmbH & Co. TP101 Transparencia, p. 04.

2.4.2.4. Válvulas de drenaje o trampas

Las válvulas de drenaje automático deben ir en sitios donde exista la necesidad de desalojar condensados, por ejemplo, filtros, separadores centrífugos, piernas de drenaje, tanque etc. La función de éstas consiste en abrirse cada cierto tiempo, para comunicar el sitio donde existe el condensado con el exterior, permitiendo que éste sea desalojado.

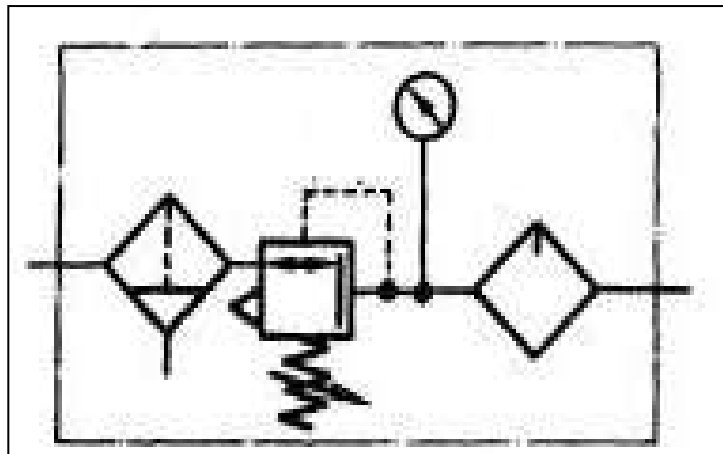
2.4.2.5. Unidades de mantenimiento

Es una combinación de tres elementos para evitar un deterioro irreversible en las instalaciones neumáticas y en todos los componentes de los equipos provocados por partículas de polvo, óxido y vapores de aceite suspendidos en el aire.

- Filtro de aire comprimido: debe de extraer todas las impurezas o agua condensada del aire comprimido.

- Regulador de presión: mantiene la presión de trabajo (secundaria) estable a pesar de las variaciones de la presión de red (primaria)
- Lubricador de aire comprimido: su misión es lubricar los elementos neumáticos, por medio de una mezcla controlada de aire-aceite.

Figura 16. **Símbolo neumático de unidad de mantenimiento**

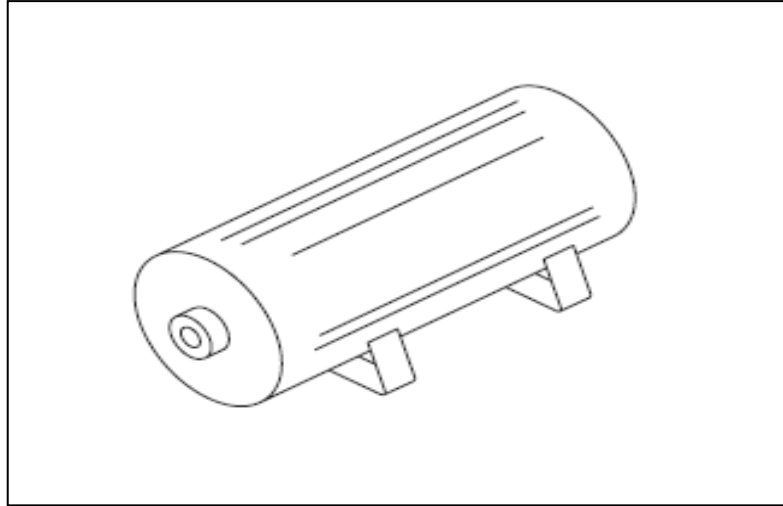


Fuente: Festo, Didactic GmbH & Co. TP101 Transparencia, p. 04.

2.4.2.6. Depósitos de aire

Permite absorber las pulsaciones inherentes al sistema de compresión, a la vez, suministra una superficie grande de intercambio de calor que permite disminuir parcialmente la alta temperatura del aire, luego de la compresión. También absorbe picos de consumo alto y de corta duración ocasionados por aplicaciones que requieren grandes cantidades de aire en lapsos cortos de tiempo. Permitiendo de esta manera no tener un compresor de aire sobredimensionado para satisfacer las demandas.

Figura 17. **Depósito de aire comprimido horizontal**



Fuente: Festo, Aire comprimido, fuente de energía. p. 101.

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Empacadora Toledo, S. A., (Planta Amatitlán) cuenta hoy con un sistema de aire comprimido de cuatro compresores de aire, tres secadores de aire comprimido, varios tanques de aire comprimido distribuidos en puntos estratégicos (de mayor demanda), una red de aire comprimido mixta (circuitos cerrados y abiertos) de hierro galvanizado con los accesorios típicamente dispuestos para su función, por lo que se requiere que el presente estudio mejore en eficiencia de la funcionalidad principalmente del sistema de aire comprimido de la planta.

3.1. Compresores de aire comprimido

Existen cuatro compresores de aire que están identificados con un código inteligente de inventario para la empresa, diseñado para llevar un registro histórico de servicios de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, emergente, para llevar indicadores de disponibilidad y confiabilidad específicos para cada uno de ellos.

En la tabla VI, se enumeran las unidades compresoras que se encuentran dispuestas para generar el aire comprimido para las respectivas unidades consumidoras de la empresa.

Tabla VI. **Identificación para compresores de aire**


No.	Descripción:	Código.
1	Compresor No. 1	CA-001
2	Compresor No. 2	CA-002
3	Compresor No. 3	CA-003
4	Compresor No. 4	CA-004

Fuente: elaboración propia.

Los compresores de aire cuentan con una ficha de datos que identifica y reúnen la información particular y técnica de cada uno, como por ejemplo: modelo, serie, descripción del compresor, potencia de motor, tipo de conexión, ubicación dentro de la empresa, medidas longitudinales del equipo, criticidad, código interno del equipo, etc. A esta hoja se le conoce con el nombre de ficha técnica, a continuación se muestra un ejemplo de esta ficha para el compresor CA-001.

Las unidades generadoras de la empresa se encuentran centralizadas en un área restringida, en la cual solo los operadores de estos equipos tienen acceso.

Figura 18. Ficha técnica de compresor de aire

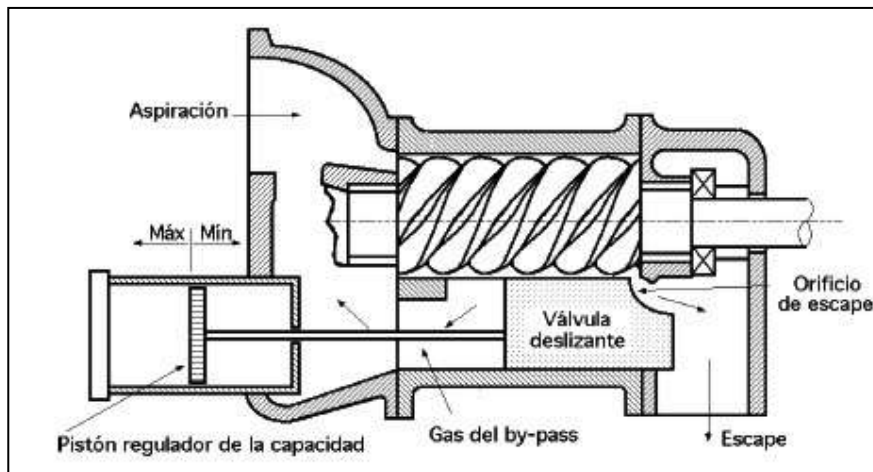
Empacadora Toledo S.A. Planta Amatitlán			
FICHA TECNICA		Equipo <input checked="" type="checkbox"/> Infraestruc. <input type="checkbox"/>	Código CA-001
Departamento: Servicios Generales		Fecha: 02/06/2006	
Nombre	Compresor # 1	Ubicación	Aja Norte
Descripción		Empresa	Empacadora Toledo S.A.
Tipo	Aire Comprimido	División	Procesamiento Industrial
Modelo	LS-10 25R AC	Departamento	Servicios Generales
# de serie	003.114483	Planta	Amatitlán
Marca	Sullair	Edificio	Calderas
Año de fabricación		Piso	ter. Nivel
Comprado nuevo o usado:	nuevo	Sala	
Caract. de diseño especiales:	Cabina Antisonora	Línea de Prod.	Formados Embutidos Envasados
Fabricante	Sullair Corporation	Fecha de compra	
Tel		Fecha de instalación	
Fax:		Ubicación Técnica	TG-154-CA01
Proveedor	Distribuidora Técnica, S.A.	Costo de reemplazo	
Nombre de contacto	Karlheinz Schafke	Vencimiento de garantía	
e-mail del proveedor		No. De Equipo	CA-001
Contrato legal No.		Contrato de mant.	
Tel		Clasificación	ECMPRSR (Compresor)
Proveedores de repuestos		Sub. Clasificación	ETRNLRAC (Tornillo Aire Comprimido)
1		Vida útil esperada	
2		Prioridad	Crítico "A"
3		Código contable	
Documentación Técnica	Si No	Vencimiento	
Manual de Operaciones	no	Voltaje	480 vol
Manual de Mantenimiento	no	Amperaje	
Manual de repuestos	no	Fases	
Planos Eléctricos	no	Acometida eléctrica	
Planos Mecánicos	no	Línea de aire	115/125 Psi
Check List	no	Peso (kg)	
Otros	no	Dimensiones	A 1.07 mts L 1.52 mts An 0.91 mts
CD's	no		
Herramientas:		Definición de Insumos	
Kit de Repuestos		Aceites:	
		Grasas:	
		Otros:	
OB:		Dibujo Técnico (Equipos) o Croquis de Ubicación (Infraestructura)	
			

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

3.1.1. Tipos de compresores

Los compresores que utiliza la empresa para la generación de aire comprimido, a través del método de compresión. Éstos se conocen con el nombre de desplazamiento positivo o volumétrico, son del tipo de tornillo, siendo uno de los compresores con mayores beneficios para este tipo de industria, una de ellas es: bajo contacto que el aire tiene con el lubricante, hay menos piezas en desgaste natural al inicio del funcionamiento y la capacidad de compresión es mayor al de uno del tipo alternativo.

Figura 19. Perfil de compresor de tornillo



Fuente: KAESER. Compresores. Manual del Operador. p. 67.

3.1.2. Capacidad de generación de aire comprimido

Realizando una sumatoria de la cantidad de pies cúbicos por minuto (CFM) de cada compresor, se encuentra la capacidad total de los compresores de tornillo, dispuestos para la generación de aire comprimido de la empresa.

Tabla VII. **Capacidad de compresores de aire**

No.	Código de Compresor	Presión (Psig)	SCFM
1	CA-001	115	100
2	CA-002	110 / 125	100
3	CA-003	125 / 135	222
4	CA-004	110	135
SCFM Total			557

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Principio de operación del compresor de tornillo

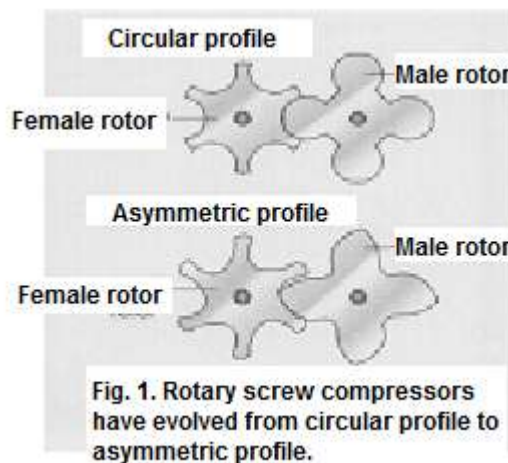
Los compresores de tornillo, también se les conoce con el nombre de helicoidales, existen dos variantes de este tipo, para diferentes condiciones de trabajo.

- Doble tornillo: que comenzaron a utilizarse en los años 30 y están compuestos de dos husillos roscados (rotores), uno motor y otro conducido.
- Mono tornillos: que comenzaron a utilizarse en los años 60 y están compuestos por un rotor o husillo roscado único, que engrana con un par de ruedas satélites dentadas idénticas.

Para efectos de este trabajo sólo se estudiará el de doble tornillo. El compresor de tornillo de dos rotores, es una máquina rotativa de desplazamiento positivo, en la que la compresión del aire se efectúa mediante dos rotores de perfiles conjugados.

Uno de ellos, se denomina macho y posee lóbulos (perfil convexo), mientras que el otro, se llama hembra y posee alvéolos (perfil cóncavo), el rotor conductor tiene cuatro o cinco dientes helicoidales, y engrana con seis celdas o cámaras de trabajo, igualmente helicoidales, del rotor conducido, alojados ambos dentro del estator. Para asegurar el cierre hermético de las cámaras de trabajo, por lo tanto, la separación de las cavidades de aspiración e impulsión del compresor, la sección transversal de los dientes ha evolucionado desde un perfil circular, hasta perfiles cicloidales, en orden a mejorar el funcionamiento mecánico y dinámica de los rotores.

Figura 20. **Perfil de rotores; simétrico y asimétrico**



Fuente: Atlas Copco. Compreseed air fundamentals. p. 128.

El perfil del tornillo conductor es convexo, mientras que el del conducido es cóncavo; el rotor conductor, conectado al eje motor, gira más rápido que el conducido en una relación, $6/4 = 1,5$ o $6/5 = 1,2$. El aire que penetra por la cavidad de aspiración, situada en uno de los extremos del compresor llena por completo cada una de las cámaras de trabajo helicoidales del rotor conducido.

Durante el giro de los rotores, las cámaras de trabajo limitadas entre los filetes de los rotores y las superficies internas del estator, dejan de estar en comunicación directa con la cavidad de aspiración y se desplazan junto con el aire a lo largo de los ejes de rotación.

En un momento determinado, cada cámara de trabajo se cierra por uno de sus extremos, mediante uno de los cuatro dientes del rotor conductor, quedando así atrapado un volumen de aire V_1 , que queda desconectado de la aspiración a la presión p_1 (fin de la fase de admisión), comienza la etapa de compresión, al proseguir la rotación, el volumen se va reduciendo hasta que se pone en comunicación con la lumbrera de escape, alcanzando un valor V_2 a la presión p_2 , momento en que se produce el fin de la fase de compresión y comienzo de la de escape.

El perfil de los rotores helicoidales es tal que, los conducidos se descargan completamente, el husillo conductor es el que realiza el trabajo de desplazamiento, actuando al mismo tiempo como rotor, el husillo conducido tiene la misión de separar las cavidades de admisión e impulsión, pero sin desalojar el aire que se comprime continuamente dentro de la recámara que se reduce.

Cada una de las cámaras de trabajo se comporta como si el cilindro fuese un compresor alternativo, en donde cada diente del rotor conductor hace las veces de pistón, que primero cierra y después comprime el volumen inicialmente atrapado V_1 , por lo que un compresor helicoidal no es sino un compresor alternativo de seis cilindros helicoidales, en el que se han eliminado el cigüeñal, el espacio nocivo y las válvulas de admisión y escape.

El proceso se puede descomponer en tres partes:

- Aspiración, el fluido penetra a través de la entrada de aspiración y llena el espacio creado entre los lóbulos, los alveolos y la carcasa. El espacio aumenta progresivamente en longitud durante la rotación a medida que el engrane de los rotores se aproxima hacia el lado de descarga. Esta fase acaba una vez el fluido ha ocupado toda la longitud del rotor.
- Compresión, el fluido disminuye su volumen debido al engrane final de los rotores y en consecuencia aumenta su presión.
- Escape, el fluido es descargado continuamente hasta que el espacio entre los lóbulos de los rotores desaparece.

Figura 21. **Fases de trabajo del compresor de tornillo**



Fuente: Atlas Copco. Compressed air fundamentals. p. 127.

3.1.4. Mantenimiento

Empacadora Toledo, S. A., cuenta con un mantenimiento preventivo quincenal que lo realiza el personal encargado de operación y mantenimiento del equipo, bajo un control de órdenes de trabajo, para un plan de mantenimiento, generadas por un módulo del software para mantenimiento llamado máximo.

Adicionalmente, se realizan los servicios de mantenimiento preventivo proporcionado por los representantes de las marcas con técnicos autorizados para las unidades compresoras, supervisado y revisado por personal que pertenecen a la empresa. Éste servicio se realiza por control de horas de servicio.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de una orden de trabajo generada para el servicio de mantenimiento preventivo para el compresor CA-001.

Figura 22. Orden de trabajo de mantenimiento para compresores de aire

Orden de Trabajo # 398259 emitida: **Monday, February 20, 2012 6:22:42 PM**

MP OMB QUM COMPRESOR DE AIRE SULLAR # 1 91208

Hora Inicial de Paso	Hora Final de Paso	Nombre y Firma de responsables de reportar tiempo

Herramientas Cant. planificada Cantidad real

Servicios Recibidos de Terceros (Proveedor, Descripción Servicio, Fecha y Hora y responsable de recibir

Página: 2 de 2

Orden de Trabajo # 398259 emitida: **Monday, February 20, 2012 6:22:40 PM**

MP OMB QUM COMPRESOR DE AIRE SULLAR # 1 91208

Hora Inicial de Paso	Hora Final de Paso	Nombre y Firma de responsables de reportar tiempo

Estado: APROBADO
CHUMBE01
Fecha de inicio prog: 2/20/2012 **Supervisor:** RMA4
Fecha de fin. prog: 2/20/2012 **1:30:00 AM**
Informado: 2/18/2012 **3:16:13 PM** **DIAZ/ROQUE** **Contrato N°:** 7381-2048 **Proveed:** \$ **Problemas:**

Ubicación: 106 **ENTERPRISES**
Equipo: CA-801 **Compresor Tomita Aire Comprimido (Compresor) Sullar Corporation LS-16 25-HAC**
Cuenta de Gasto: **Especialidad principal:** CALDZ

ID de tarea	Punto de medición	Valor	Fecha	Observaciones
10	Revisar estado de aceite (nivelar si es necesario Acople Solube 32)			
20	Revisar estado de filtro de aire (aplica cada semana)			
30	Soplar filtro de aire (aplica cada 15 días)			
40	Lavar y soplar radiador			
50	Limpiar unidad completa (compresor)			
60	Limpiar trampa liberadora de condensado			
Mano de obra	Cantidad	Horas planificadas	Horas reales	
CALDZ	Calderista 2 - intermedio	1	1.5	
Materiales	Cant. planificada	Cantidad real		

Página: 1 de 1

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

3.2. Secadores de aire comprimido

El agua que contiene el aire comprimido puede causar sólo ligeros daños, siempre que continúe como vapor de agua en el aire. Una vez que este vapor de agua se condensa, la historia cambia radicalmente. El agua en forma líquida puede causar la oxidación y corrosión de las tuberías, atascamiento de los actuadores y daños a herramientas e instrumentos.

Los secadores de aire remueven el vapor de agua y disminuyen el punto de rocío del aire comprimido. Previenen la formación de agua líquida, pero no eliminan todos los demás contaminantes.

Existen tres secadores de aire comprimido que están identificados con un código inteligente de inventario para la empresa, diseñado para llevar un registro histórico de servicios de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, emergente, para llevar indicadores de disponibilidad y confiabilidad específicos para cada uno de ellos.

Tabla VIII. **Identificación para secadores de aire comprimido**

No.	Descripción	Código
1	Secador de aire comprimido No. 1	SR-001
2	Secador de aire comprimido No. 2	SR-002
3	Secador de aire comprimido No. 3	SR-003

Fuente: elaboración propia.

Los secadores de aire comprimido cuentan con una ficha de datos que identifica y reúnen la información particular y técnica de cada uno, como: modelo, serie, potencia de motor, tipo de compresor de refrigeración, ubicación dentro de la empresa, medidas longitudinales del equipo, criticidad, código interno del equipo, etc. A esta hoja se le conoce con el nombre de ficha técnica, a continuación se muestra un ejemplo de esta ficha.

Figura 23. Ficha técnica de secador de aire comprimido

Empacadora Toledo S.A. Planta Amatlán		FICHA TÉCNICA		Equipo Industrial	Código 531-001
Departamento: Servicios Generales		Fecha: 03/06/2006			
Nombre:	Secador de Aire	Ubicación:	Ale Rortir		
Descripción:		Empresa:	Empacadora Toledo S.A.		
Tipo:		Dirección:	Procesamiento Industrial		
Modelo:	TC-3H	Departamento:	Servicios Generales		
N.º de serie:	1856	Planta:	Amatlán		
Marca:	Kaeser	Edificio:	Cañteras		
Año de fabricación:		Piso:	ter. Nivel		
Compuerto nuevo o usado:	nuevo	Sala:			
Caract. de diseño especiales:		Línea de Prod.:	Formados Fertilizantes Cruzados		
Facilitado:		Fecha de compra:			
Tel.:		Fecha de instalación:	10-10-04		
Fax:		Notación Técnica:			
Proveedor:	Kaeser de Guatemala, S.A.	Código de montaje:			
Nombre de contacto:		No. de Equipo:	08-001		
e-mail del proveedor:		Contrato de mant.:			
Credencial legal No.:		Clasificación:	ENFACMS (Secador de Aire)		
Tel.:		Sub. Clasificación:	33CDB (Secador de Aire)		
Proveedores de repuestos:		Vida útil esperada:			
1	Kaeser de Guatemala, S.A.	Prioridad:			
2		Código control:			
3		Verificación:			
Documentación Técnica:	Si No	Voltaje:	115 vol		
Manual de Operaciones:	NO	Amperaje:			
Manual de Mantenimiento:	NO	Fases:			
Manual de repuestos:	NO	Accesorios eléctricos:			
Planos Eléctricos:	NO	Línea de aire:	120 PSI		
Planos Mecánicos:	NO	Peso (kg):	895 kg		
Check List:	NO	Dimensiones:			
Hoja:	NO			A 5.02 mts	
CE:	NO			L 0.88 mts	
				An 0.88 mts	
Notariedades:		Detección de Incidencias:			
Por de Reparación:		Quemado:			
		Fricción:			
		Otros:			
Ub.:		Dibujo Técnico (Equipos) o Croquis de Ubicación (Infraestructura)			
					

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

3.2.1. Tipos de secadores

Los secadores de aire comprimido que utiliza la empresa por la forma en que lo realiza, éste se conocen con el nombre de frigoríficos o refrigerador, siendo este el más utilizado en la industria, por la inversión y bajo mantenimiento que requiere este equipo como la de alcanzar temperaturas de rocío de 3 a 10 grados centígrados.

3.2.2. Capacidad

Realizan una sumatoria de la cantidad de pies cúbicos por minuto (CFM) que pueden entregar cada compresor, se encuentra la capacidad total nominales de los compresores de tornillo, dispuestos para la generación de aire comprimido de la empresa.

Tabla IX. **Capacidad de secadores de aire comprimido**

No.	Código de Secador de aire comprimido	Presión (Psig)	SCFM
1	SR-001	110	135
2	SR-002	110	135
3	SR-003	125	222
SCFM total			492

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Principio de operación

Bajo el principio de la habilidad del aire de retener agua y se reduce al bajar su temperatura, se traduce la utilización de un sistema simple para bajar la temperatura del aire. El vapor de agua se condensa formando agua líquida. Una vez condensada, se remueve del sistema y se reduce permanentemente el contenido de humedad del aire.

Mientras el aire comprimido no se exponga a temperaturas por debajo de la del punto de rocío, no se condensará más líquido dentro del sistema.

Los secadores refrigerativos se usan normalmente en donde la temperatura ambiente está por arriba de la temperatura de congelación. En Estados Unidos y Latinoamérica, las condiciones para los secadores refrigerativos son: aire comprimido saturado a la entrada del secador a: 7 kilogramos por centímetros cuadrado y 38 grados centígrados, 30 grados centígrados del aire ambiental y un máximo de 0,35 kilogramos por centímetros al cuadrado de caída de presión.

Características de un secador refrigerativo:

- El intercambiador de calor (evaporador) enfría el aire comprimido a la temperatura del punto de rocío que se necesita.
- Asegura que las gotas del líquido condensado no se reintegren al sistema de aire.
- Mantiene una consistente temperatura de evaporación en un amplio rango de carga de trabajo y condiciones ambientales.

- Ofrece años de servicio sin problemas.

A continuación en la figura 24, se explica el funcionamiento paso a paso del funcionamiento del secador frigorífico.

Proceso de secado frigorífico del aire comprimido saturado de humedad entra en el secador y es dirigido hacia el intercambiador (1), siendo enfriado por el aire que vuelve a la línea ya frío y seco, el intercambio de calor entre el aire entrada y de salida reduce la carga en el compresor de refrigeración (para ahorrar los costos de energía).

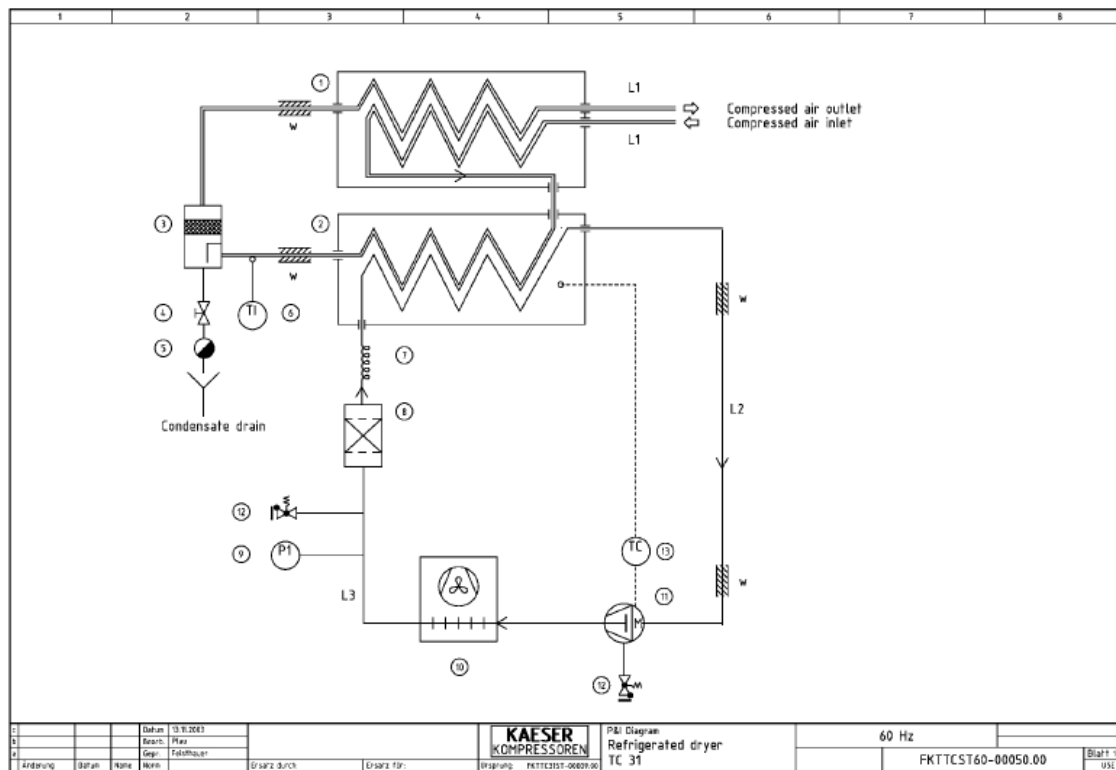
El aire entrante pasa ahora al intercambiador de calor (2), donde el fluido refrigerante lo enfría 2 grados centígrados, la humedad se condensa y forma gotas de agua que son separadas del aire en el separador de condensado (3) y se recoge en un colector que automáticamente purga el sistema, luego, al tener el aire frío y seco, vuelve al intercambiador (1), enfría al aire nuevo que entra y, sale ya a la línea de conducción de aire comprimido, terminando el ciclo de secado frigorífico.

3.2.4. Mantenimiento

Empacadora Toledo, S. A., cuenta con un mantenimiento preventivo quincenal que lo realiza el personal encargado de operación y mantenimiento del equipo, bajo un control de órdenes de trabajo (ver figura 25) de un plan de mantenimiento, generadas por un módulo del software para mantenimiento llamado máximo.

Adicionalmente se realizan los servicios de mantenimiento preventivo proporcionado por los representantes de las marcas con técnicos autorizados por las fábricas de las marcas, supervisado y revisado por personal que pertenece a la empresa, este servicio se realiza por control de horas de servicio del equipo.

Figura 24. **Diagrama P&I del sistema frigorífico del secador de aire Kaeser, modelo TC 31**



Fuente: KAESER, Compresores. Manual de servicio TC 31, p. 17.

Figura 25. Orden de trabajo de mantenimiento para secadores de aire comprimido

Orden de Trabajo # 398244 emitida: <i>Monday, February 20, 2012 6:26:14 PM</i>					
MP CMB QUIN SECADOR DE AIRE KAESER 1 S1208					
Hora Inicial de Paro		Hora Final de Paro		Nombre y Firma de responsables de reportar tiempo	
Estado: APROB SRCMB001		Tipo de O.T.: MP		Fec. de Inicio prog.: 2/22/2012 Fecha de fin. prog.: 2/22/2012 12:30:00 AM	
Supervisor: R0494					
Informado: 2/16/2012 3:14:08 PM DMARROQU Contacto tel: 7881-0248 Prioridad: 5 Problema:					
Ubicación: 105		TALLERES			
Equipo: SR-001		Intercambiador Secador de Aire (Secador) Kaeser/TC-31			
Cuenta de Gasto		Especialidad principal: CALD2			
ID de tarea	Punto de medición	Valor	Fecha	Observaciones	
10	Revisar estado de indicador color verde (indica zona de buen secado de aire)			_____	
20	Lavar, sopletear y revisar estado de radiador			_____	
30	Enderezar o peinar laminillas de radiador (si están torcidas)			_____	
40	Revisar trampa de expulsión de humedad			_____	
Mano de obra		Cantidad	Horas planificadas	Horas reales	
CALD2	Calderista 2 - Intermedio	1	0.5	_____	
Materiales			Cant. planificada	Cantidad real	
Herramientas			Cant. planificada	Cantidad real	
Servicios Recibidos de Terceros (Proveedor, Descripción Servicio, Fecha y Hora y responsable de recibir)					

3.3. Sistema de distribución de aire comprimido

Para el transporte del aire comprimido desde la ubicación central de compresores, hasta los lugares de utilización se emplea una red de conducciones conocidas bajo el nombre genérico de tuberías que consta con una variedad de accesorios como: codos, tees, coplas, tubería, acoples, unidades de mantenimiento manguera, válvulas, etc, y de materiales diversos como bronce, hierro galvanizado y acero inoxidable dentro de área de producción.

3.3.1. Red de distribución de aire comprimido

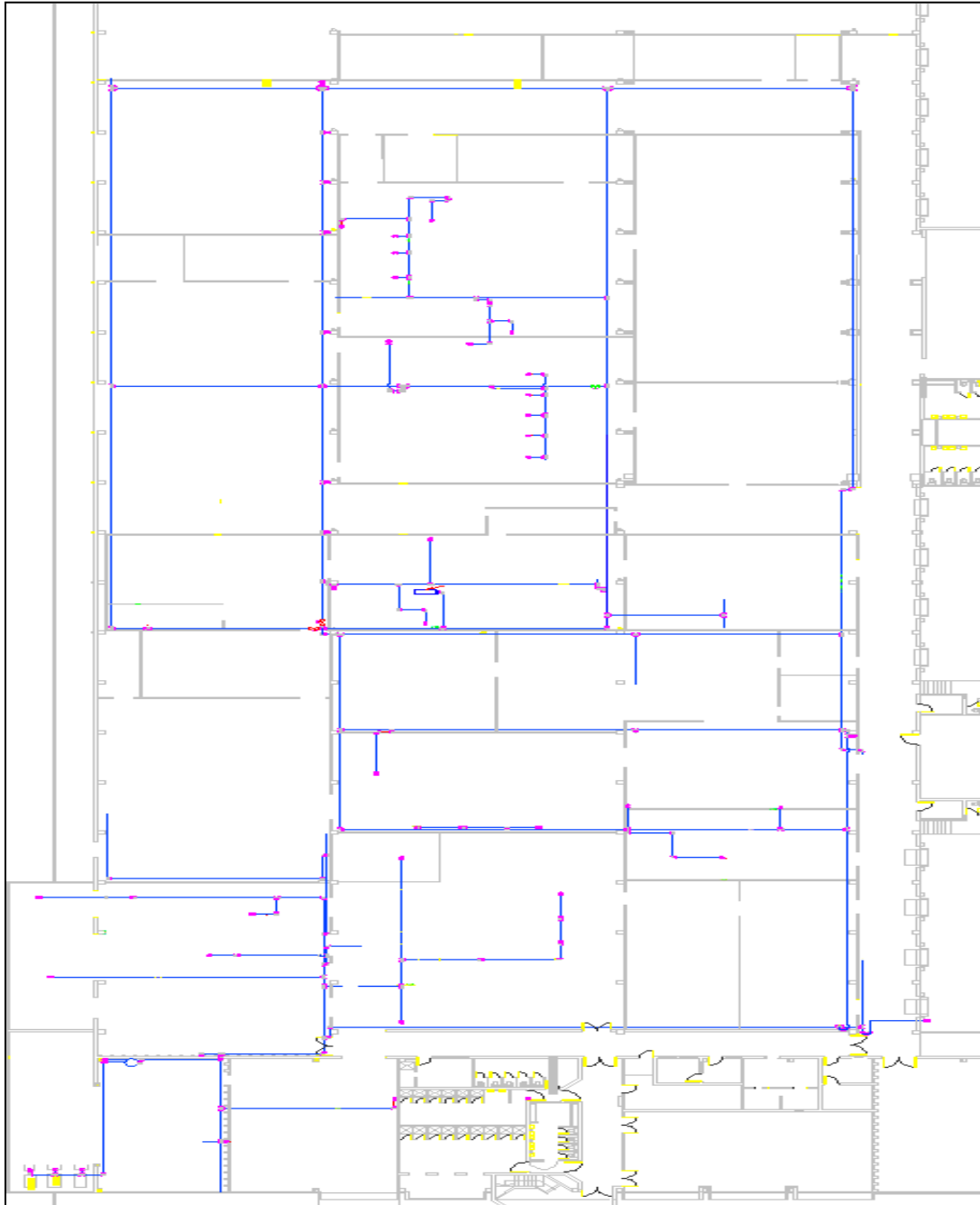
La empresa en 2006 sufrió una ampliación que obligo a expandir la red del aire comprimido y constantemente se ha requerido de nuevas alimentaciones, por lo que ha generado que la red de distribución del aire comprimido sea mixta o sea una combinación de redes cerradas y abiertas como se muestra en la figura 26.

En la tabla X, se enlistan las presiones y consumos en los equipos que utiliza aire comprimido dentro de la empresa (unidades consumidoras) y se enmarca en la tabla la presión más alta que requiere el sistema de distribución de aire comprimido, siendo esta 116 libras por pulgada cuadrada (8 bares).

3.3.2. Accesorios de distribución de aire comprimido

Los accesorios son los que permiten ajustar la red de distribución de aire comprimido al diseño o configuración deseada según los requerimientos del edificio que la empresa utiliza para desarrollar su proceso de producción, se elaboró un listado de accesorios que describen en la tabla XI.

Figura 26. **Red de distribución de aire comprimido de Empacadora Toledo, S. A.**



Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

Tabla X. **Presión y consumo de aire comprimido de los equipo de Empacadora Toledo, S. A.**

Área	Sub-Área	Código de equipo	Presión en PSIG	Consumo en Litros/seg.
Jamones	Fabricación	MP-001	100	10
		BM-001	85,34	0,03
		BM-002	85,34	0,03
		H&S x 1	110	13
	Producción	EH-001	80	5
		CG-005	87,02	2,5
		DM-005	95	16
		FC-008	110	16
		NDP 15	80	2,83
		H&S x 2	110	26
	Cocina	HV-001	95	16,67
		HV-002	95	16,67
		HV-003	95	16,67
		H&S x 2	110	26
	Empaque	SV-001	101,53	20
		SV-002	101,53	20
		DM-003	95	16
		RJ-001	87,02	0,25
		RJ-002	87,02	0,25
		CG-002	87.02	1.67
		NDP 15	80	2.83
		H&S x 3	110	39

Continuación de la tabla X.

Salchicha	Fabricación & Producción	EH-002	80	5
		AM-001	85,34	10
		CG-003	87,02	2.5
		AM-002	85,34	10
		AM-003	85,34	10
		AM-004	85,34	10
		PD-002	72,52	0,02
		DM-006	95	16
		DM-007	95	16
		DM-008	95	16
		TO-001	75	0,05
		TO-002	75	0,05
		H&S x 2	110	26
		Cocina	HV-004	75
	HV-005 x 2		87,02	0,15
	HV-006 x 5		116,03	3,08
	H&S x 4		110	52
	Empaque	SV-003	101,53	20
		SV-004	101,53	20
		SV-005	101,53	20
		SV-006	101,53	20
		SV-007	101,53	20
		PS-001	75	4,72
		NDP 20 x 2	80	9,44
		H&S x 1	110	13

Continuación de la tabla X.

Formados	Línea de Producción	HC-001	60	1,08
		HC-002	60	1,08
		FM-003	87,02	5
		FM-004	87,02	5
		EM-003	87,02	3,83
		EM-004	87,02	3,83
		H&S x 4	110	52
	Empaque	DM-004	95	16
		DM-009	95	16
		EB-001	85	16,52
		EB-002	85	16,52
		EB-003	85	16,52
		TU-002	60	1,08
		TU-004	60	1,08
H&S x 2	110	26		
I&D	Cámara de I&D	BM-004	60	1,08
C. I.	Talleres	CV-001	11	7,79
		CV-002	22	9,91
		CF-001	60	1,08
		Servicio x 5	85	65
Pasillos	pasillos y muelles	H&S x 13	110	196
Exteriores	Gasolinera	Servicio x 1	80	18
	Compresores	Servicio x 2	80	36
	Cuarto Pintura	Servicio x 1	80	8

Fuente. Empacadora Toledo, S. A.

Tabla XI. **Listado de accesorios de Empacadora Toledo, S. A.**

Cantidad	Descripción
290	Metros tubos de 1/2" en hierro galvanizado
159	Metros tubos de 1/2" en acero inoxidable
25	Metros de tubo de 1.1/2" en hierro galvanizado
354	Metros de tubo de 2" en hierro galvanizado
460	Metros de tubo de 3" en hierro galvanizado
26.5	Metros de manguera de 3/8"
8	Codos de 2" a 45° en hierro galvanizado
10	Codos de 3" a 45° en hierro galvanizado
106	Codos de 1/2" a 90° en acero inoxidable
116	Codos de 1/2" a 90° en hierro galvanizado
48	Codos de 2" a 90° en hierro galvanizado
54	Codos de 3" a 90° en hierro galvanizado
5	Cruz de 2" en hierro galvanizado
2	Cruz de 3" en hierro galvanizado
5	Reductores de 3" a 1.1/2" en hierro galvanizado
1	Reductores de 3" a 2" en hierro galvanizado
7	Tee de 1.1/2" en hierro galvanizado
53	Tee de 2" en hierro galvanizado
71	Tee de 3" en hierro galvanizado
36	Uniones universales de 2" en hierro galvanizado
43	Uniones universales de 3" en hierro galvanizado
53	Válvula de 1/2" en acero inoxidable
58	Válvula de 1/2" en hierro galvanizado
32	Válvula de 2" en hierro galvanizado
16	Válvula de 3" en hierro galvanizado

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

3.3.2.1. Trampas de condensado

Las válvulas de drenaje deben ir en sitios donde exista la necesidad de desalojar condensados, por ejemplo, filtros, separadores centrífugos, piernas de drenaje, tanque etc.

La función de éstas consiste en abrirse cada cierto tiempo para comunicar el sitio donde existe el condensado con el exterior, permitiendo que éste sea desalojado.

En la empresa se cuenta con este tipo de válvulas:

- Válvulas con drenaje automático mecánico: no requieren ningún tipo de energía exterior. Tiene la desventaja que el tiempo de ciclado es relativamente aleatorio no habiendo ningún control sobre el tiempo que la válvula permanezca abierta y permitiendo que se deposite una capa sobre la válvula, haciendo que ésta pierda sensibilidad hasta que se bloquea.
- Válvulas con drenaje automático de flotador: consiste en un flotador de forma esférica instalado en la base de la misma. Que por la acción de la acumulación de condensado es desplazado hacia arriba, hasta llegar a un punto tal que ocasiona la apertura de una válvula mecánica, permitiendo la salida del condensado.

Al salir cierta cantidad de condensado, el flotador se desplaza hacia abajo cerrando la válvula mecánica. Este ciclo se produce continuamente.

- Válvulas con drenaje automático electrónica: este tipo de válvulas opera mediante un solenoide, la cual es controlada por un temporizador que determina exactamente los intervalos de apertura y la duración de los mismos, utilizada especialmente en los secadores frigoríficos.

3.3.2.2. Válvulas

Las válvulas sirven para controlar los líquidos en las tuberías de servicios de aire comprimido. Las válvulas se producen en una variedad de diseños, tipos y materiales. La selección correcta es importante para asegurar los sistemas más eficaces, económicos y duraderos. Las válvulas están diseñadas para realizar cuatro funciones principales:

- Iniciar y detener el flujo
- Regular (estrangular) el flujo
- Prevenir la inversión del flujo
- Regular o aliviar la presión del flujo

Figura 27. **Fotografía de válvula de acero inoxidable de 1/2"**



Fuente: *Banjo corporation*, 2007.

3.3.2.3. Filtros

Las unidades compresoras requieren un filtro de aspiración muy eficaz, para garantizar el funcionamiento a mediano plazo libre de dificultades. De otra forma, los abrasivos aspirados por el compresor, que están en el aire, llegarían al lubricante y podrían causar desgaste excesivo en los accesorios internos del equipo (cilindros, cojinetes, etc.), los filtros más comunes son los de papel, con cartuchos recambiables. Cada compresor necesita un filtro acorde con las condiciones de trabajo, (en la figura 28 se muestra un filtro de aire).

Por esa razón, siempre es necesario especificar el grado de filtración deseado y contactar con el fabricante del compresor para que suministre el sistema de filtración ideal.

Figura 28. Filtro de admisión de aire



Fuente: Sullair, catálogo de productos año 2006.

Posterior a la compresión del aire se encuentran dos filtros más, el de partículas y un coalescente, con el fin de evitar que lleguen dentro de la red del aire comprimido.

Filtro para atrapar partículas: están diseñados para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales: papel, rejillas metálicas, mallas de nylon, espumas, etc. La figura 29 muestra los distintos tipos de elementos que existen para los filtros de aire comprimido, dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

Figura 29. **Filtro de partículas**



Fuente: Ingersoll-Rand, Manual de operaciones e instrucciones de compresor. p. 119.

Filtro coalescente: el propósito de este tipo de filtro, es retener lubricantes, emulsiones y neblinas, mediante el principio de coalescencia, el cual consiste básicamente en tener una red aleatoria de fibras, la cual ante el paso de aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad, como consecuencia del diseño del filtro pueden retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas, por esto se recomienda instalar primero un filtro de partículas antes que uno coalescente y así evitar que este se sature.

Figura 30. **Filtro coalescente**



Fuente: Ingersoll-Rand. Manual de operaciones e instrucciones de compresor. p. 119.

Falta mencionar el filtro para alimentaciones de equipos neumáticos o unidades consumidoras, pero se detallara cuando se desarrolle el tema de la unidad de mantenimiento.

3.3.2.4. Unidades de mantenimiento

La suciedad provocada por el desgaste en superficies internas de tuberías y accesorios como las juntas o uniones soldadas o roscadas. Éstos dificultan el funcionamiento y reduce la duración de los elementos neumáticos. Para eliminar estas influencias nocivas, deben emplearse en cada mando neumático, las unidades de mantenimiento para aire comprimido, que consta de tres elementos: filtro, regulador y lubricador, estos tres componentes se pueden apreciar en la figura 31.

Filtro: los filtros de aire comprimido retienen las partículas sólidas y las gotas de humedad que contiene el aire. Las partículas mayores de 400 micrones (depende del cartucho filtrante) son retenidas por un filtro sinterizado. Los líquidos son desviados a la copa del filtro mediante una instalación especial; el condensado en la copa se vacía periódicamente, pues de lo contrario, podría ser arrastrado por el aire a presión.

En la industria alimenticia se necesita con frecuencia aire a presión pasado por filtros muy finos. En estos casos se emplean filtros submicrónicos, los filtros submicrónicos retiran las minúsculas gotas de agua, aceite y las partículas de suciedad aún contenidas en el aire a presión.

Regulador: la seguridad de funcionamiento y la durabilidad de una instalación neumática, dependen en gran parte del buen acondicionamiento del aire comprimido, una buena red de aire comprimido debe tener, entre sus accesorios, reguladores de presión, con el fin de disponer de diferentes presiones en distintos puntos del circuito.

Los reguladores de presión están compuestos de un diafragma flexible, que controla una válvula, por medio de una espiga y un resorte que es presionado contra el diafragma por la acción de un tornillo regulador. Cuando el tornillo está completamente libre, no se aplica ninguna carga sobre el resorte y se cierra la válvula de paso; cuando se comienza a apretar el tornillo se le va aplicando una carga al resorte, la que es transmitida a la válvula, por medio del diafragma; esto permite la abertura del diafragma.

Lubricador: el lubricador de aire tiene la función de lubricar de modo suficiente a todos los elementos neumáticos. El aceite es aspirado del depósito y el aire a presión, el cual se encarga de difundir la niebla lubricante, el lubricador funciona solamente si el caudal de aire es suficientemente fuerte; la cantidad de aceite puede ser dosificada.

El lubricador se basa en la igualdad de presiones dentro del depósito del lubricador y en la línea; esto se debe al orificio que tiene el tubo de Venturi del lubricador. Ésta presión eleva el aceite por un tubo de aspiración, hasta una cámara colocada por encima del punto de goteo. A medida que el aceite va cayendo en el tubo de Venturi y entra a la corriente de aire, se pulveriza y forma una niebla, que es llevada al elemento neumático.

3.2.2.5. Depósitos de aire

El depósito o pulmón de aire comprimido que tiene la empresa para amortiguar los picos de consumo en la estación central (tanque No. 1) de los compresores es de tipo vertical con una capacidad de 150 galones.

Figura 31. **Imagen de unidad de mantenimiento, marca Festo, mod. FRC-1/4-D-MINI**



Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

Figura 32. **Depósitos de aire comprimido de Empacadora Toledo**



Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

Adicionalmente cuenta con tres depósitos más, instalados en puntos estratégicos para abastecer del caudal necesario a áreas de mayor consumo dentro del proceso de producción con las capacidades que se describen en la tabla XII.

Tabla XII. **Cantidad y capacidades de los depósitos de aire comprimido de Empacadora Toledo, S. A.**

Depósito de aire comprimido	Capacidad en Galones
Tanque No. 2	150
Tanque No. 3	150
Tanque No. 4	150

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

3.4. Mantenimiento de la red de distribución de aire comprimido

La empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo quincenal, generado por el software de mantenimiento, que se debe de realizar durante el turno nocturno, por una persona, dentro de las áreas de producción y sin la utilización de un equipo especializado para la detección de fugas. La inspección es únicamente visual y a la percepción del técnico, la siguiente figura es un ejemplo de una orden de trabajo para la red de distribución.

Figura 33. Orden de trabajo para la red de distribución de aire comprimido

Orden de Trabajo # 380571 emitida: <i>Thursday, February 23, 2012 5:54:24 PM</i>						
MP CMB QUINCENAL SISTEMA DE AIRE PLANTA S1204						
Hora Inicial de Paro		Hora Final de Paro		Nombre y Firma de responsables de reportar tiempo		
Estado: CERRAR SACMB003		Tipo de O.T. MP		Fec. de Inicio prog. 1/23/2012 Fecha de fin. prog. 1/23/2012 3:00:00 AM		Supervisor R0494
Informado: 1/9/2012 12:21:01 PM DMARROQU Contacto tel: 7881-0248 Prioridad 5 Problema:						
Ubicación: 1 PLANTA.AMATITLAN						
Cuenta de Gasto Especialidad principal CALD2						
ID de tarea	Punto de medición	Valor	Fecha	Observaciones		
10	Revisar línea principal para aire (Estado de tuberías, que no existan fugas ni corrosión)			_____		
20	Revisar estado en línea de alimentación de aire a equipos. Válvulas, acoples, abrazaderas y mangueras (cambiar si es necesario)			_____		
Mano de obra		Cantidad	Horas planificadas	Horas reales		
CALD2	Calderista 2 - Intermedio	1	3	_____		
Materiales			Cant. planificada	Cantidad real		
Herramientas			Cant. planificada	Cantidad real		
Servicios Recibidos de Terceros (Proveedor, Descripción Servicio, Fecha y Hora y responsable de recibir)						

4. EVALUACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

En busca de la mejora continua, el presente trabajo busca la posibilidad de ahorrar energía haciendo un uso eficiente en el tema del aire comprimido, su preparación y su distribución. Estos son los puntos que merecen especial atención, ya que en ellos se puede producir una pérdida que es preferible evitar, la distribución, las redes de tuberías constituyen una fuente de pérdidas si están mal tendidas y si no se lleva a cabo un mantenimiento apropiado. Dichas pérdidas pueden originar costos considerables, en ese contexto, deberán tenerse en cuenta los siguientes factores de especial importancia:

- El estado de la red de tuberías: las fugas, aunque sean pequeñas, pueden resultar muy costosas en el transcurso del tiempo.
- Las dimensiones de los tubos: si los diámetros de los tubos son demasiado pequeños, es posible que se produzca una caída de presión considerable.
- Las características cambiantes del consumo: esos cambios exigen una adaptación de la red a las nuevas circunstancias.
- La evacuación del condensado y la preparación del aire: si los sistemas utilizados con ese fin son anticuados, deben ser sustituidos por soluciones más modernas.

Para conseguir que la presión aumente un solo bar (14,7 libras por pulgada cuadrada), el consumo de energía aumenta entre 6 y 10 por ciento. Una red en buen estado debería tener un coeficiente de fugas máximo 10 por ciento. Sin embargo, muchas instalaciones en funcionamiento tienen un coeficiente de fugas entre 20 y 25 por ciento.

4.1. Compresores de aire comprimido

Actualmente los compresores se ubican dentro del área de máquinas, conocido con ese nombre porque adicional a los compresores se encuentran dos calderas de vapor y una de aceite térmico, a pesar que el área se encuentra ventilada la temperatura promedio del área de máquinas alcanza entre 28 grados centígrados en días críticos y adicionalmente pasado de medio día los rayos del sol los alcanza hasta finalizar la tarde.

4.1.1. Estudio de generación del aire comprimido

Se realizó un estudio de presión y demanda de aire comprimido en una semana aleatoria, utilizando la siguiente herramienta:

- Software de ADA: ADA (Análisis de demanda de aire) es un software que reúne la información de los registradores de datos, estos se utilizan posteriormente para establecer la eficiencia de los compresores de aire e identificar los puntos débiles dentro del sistema de aire comprimido.
- Datalogger ADA: los registradores de datos (datalogger) son dispositivos electrónicos que registran información durante el tiempo y almacenan para posteriormente develarla en un software.

- Kilowattmetro trifásico: es el instrumento encargado de medir la potencia activa de los motores de los compresores de aire.
- Transductores de presión: es el dispositivo que transforma o convierte la presión de aire comprimido dentro de la tubería, en una señal eléctrica para representarla gráficamente en el software.
- Anemómetro para entrega de aire FAD: es el encargado de medir la velocidad del aire dentro de una tubería.
- Opto acoplador para carga y vacío: es el dispositivo que se encarga de medir cuando los compresores están cargando el sistema de aire comprimido o solo están trabajando sin comprimir el aire.

El estudio se dividió en dos etapas; primera etapa, comprendió la captura de información utilizando los accesorios antes mencionados, durando 7 días completos la muestra tomada. Segunda etapa, comprendió en el análisis y estudio de la traducción e interpretación de los datos con el software ADA para análisis del consumo y presión de aire comprimido que requiere la empresa.

Resultados del estudio con software ADA serán confrontados contra un análisis teórico realizado en la siguiente sección, esto con el fin de consolidar los dos resultados y en base a estos definir una estrategia a seguir junto con las recomendaciones para aumentar la eficiencia del sistema de aire comprimido con el fin de lograr un ahorro energético considerable, en la tabla XVIII se presenta los datos de presión obtenidos.

La posición del transductor de presión para la generación de aire comprimido fue colocada en el *manifold* y el de presión de la red fue montado al final de la línea principal.

Tabla XIII. **Presión generada contra presión en el sistema de distribución**

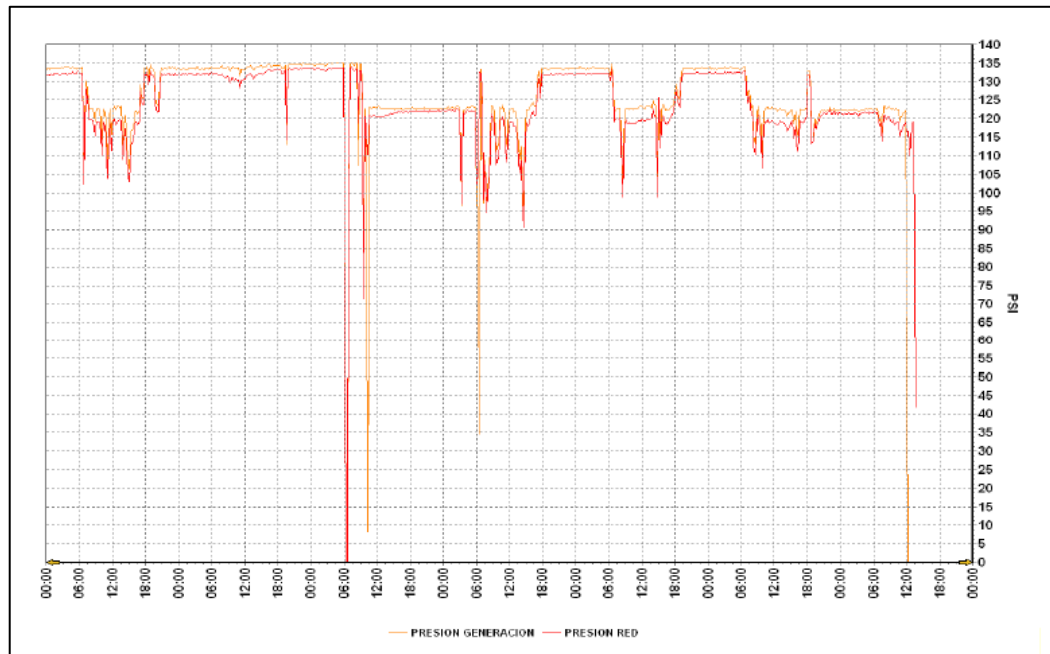
Presión en Libras por pulgada cuadrada	Mínimo	Máximo	Promedio de presión
Generación	112,41	134,27	125,41
Red de distribución	108,94	133,05	123,71

Fuente: KAESER, Compresores. Estudio Sistema de generación de aire comprimido. p. 19 y 20.

En la siguiente gráfica se representa el comportamiento de la presión en los días en que se realizó el análisis, en esta se puede apreciar un comportamiento errático (líneas en la curva que cae bruscamente o sin una uniformidad) que se debe a dos factores.

- Desconexión o corte de la energía eléctrica en el transductor de presión. Es por eso que algunas no llegan a ser cero, por el corto tiempo de desconexión.
- Los compresores como parte de su funcionamiento, modulan o controlan la admisión del aire por medio de una compuerta o dámper del lado de la succión.

Figura 34. Comportamiento de presión generada y presión de red

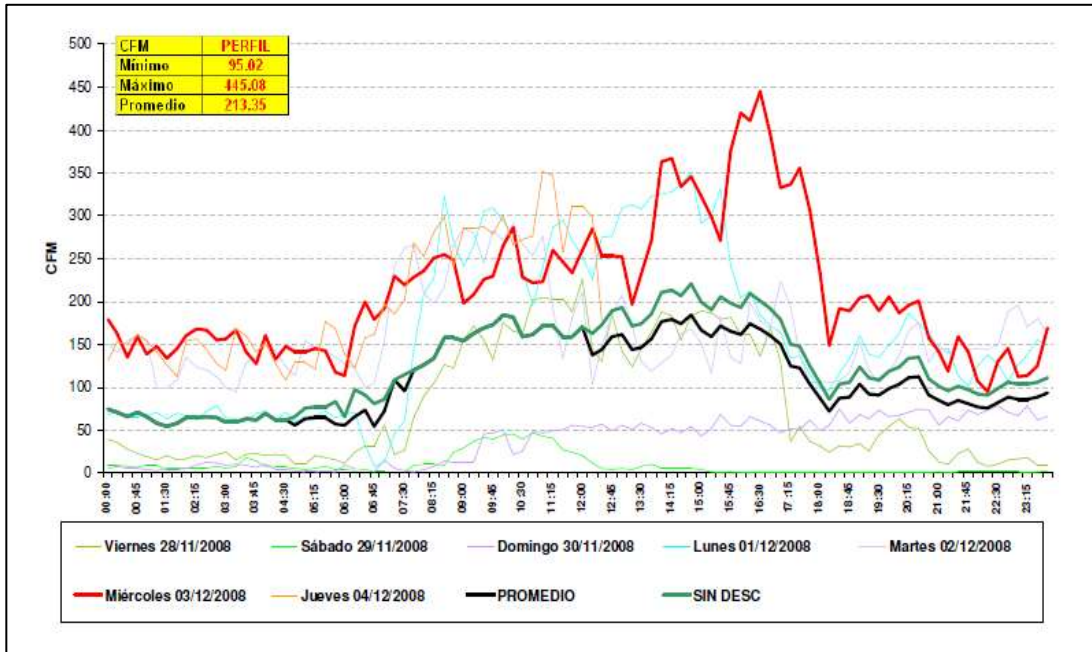


Fuente: KAESER, Compresores. Estudio Sistema de generación de aire comprimido. p. 29.

De la muestra aleatoria que se tomó en una semana x para el estudio, se encontró en el estudio de análisis de demanda de aire, que las unidades compresoras cubran una demanda máxima, este pico de consumo está identificado en 445 CFM.

La siguiente gráfica muestra una serie de curvas, cada una representa uno de los siete días, teniendo los compresores trabajando bajo el régimen de modulación la entrega del caudal deseado es cumplida, a plena carga se puede suministrar al sistema un máximo de 557 SCFM (Ver tabla VII en cap. 3).

Figura 35. Comportamiento del consumo de aire comprimido por día



Fuente: KAESER, Compresores. Estudio Sistema de generación de aire comprimido. p. 35.

La gráfica muestra la demanda de aire comprimido cubierta por los cuatro compresores de aire. Un consumo mínimo de 95 CFM en fines de semana y turnos nocturno y un consumo promedio de 213,35 CFM.

4.1.2. Análisis del estudio de generación

Analizando la tabla y la curva de la gráfica de la presión generada por las unidades compresoras contra la presión de la red de distribución del aire comprimido, se pueden realizar varias observaciones.

- La pérdida de presión entre la generación y la red de distribución es aproximadamente 2,5 libras por pulgada cuadrada.

- Las mayores pérdidas de presión se dan durante el turno diurno entre 06:00 a 18:00 horas.
- Las presiones son estables durante el turno nocturno y fines de semana por que la programación de producción es baja en comparación a turno diurno. Esto se debe a dos factores.
 - La tubería principal debe de ser de mayor diámetro, por que la demanda supera su capacidad.
 - Sabiendo que la misma tubería hace a veces de amortiguador de picos de consumo, se debe de proveer para el sistema un depósito con una mayor capacidad.
- La presión generada por las unidades compresoras esta por arriba de la presión máxima, el equipo que requieren la mayor presión es de 120 libras por pulgada cuadrada.

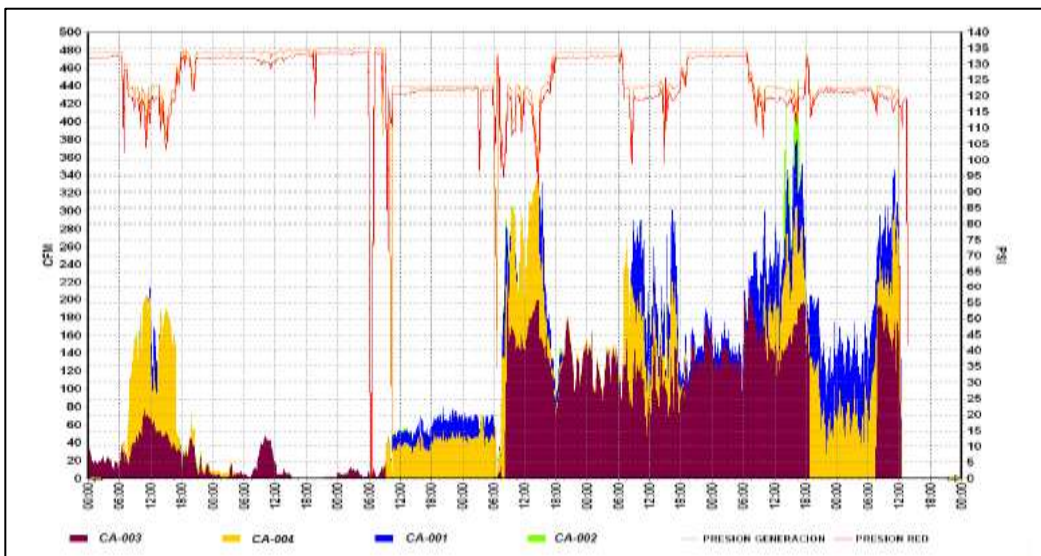
Se debe esperar cuando el consumo aumente, la presión del sistema descienda (ver figura 36), si la presión del sistema cae constantemente o dicho de una mejor forma, con un comportamiento errático y tan poco predecible (ver figura 35), se tiene como consecuencia el control de modulación en las unidades compresoras estén vareando constantemente y a este problema sumarle que los compresores se controlan independientemente, o sea que cada compresor estará entrando y saliendo según se haya programado su punto de trabajo en carga y en vacío.

Se debe aclarar que el funcionamiento de los compresores por medio de modulación no es malo, porque el equipo no está apagando y encendiendo el motor, se conoce que esto es dañino para la vida del motor y sumado a eso los costos de arrancar un motor, por los picos de amperaje que se tienen por el torque necesario junto con el efecto que se produce al factor de potencia.

La mejor forma de trabajar este grupo de compresores, es que un control o la programación sea de tal forma que uno module para alcanzar un pico de consumo y los otros estén trabajando a plena carga a sea al 100 por ciento de apertura, este tipo de trabajo se conoce como maestro-esclavo.

Para ejemplificar el comportamiento entre caudal y presión se presenta la siguiente gráfica, donde se hace notar cuando la demanda de caudal aumenta la presión sufre una caída.

Figura 36. **Comportamiento de presión y consumo durante una semana**



Fuente: KAESER, Compresores. Estudio Sistema de generación de aire comprimido. p. 47.

4.2. Secadores de aire

Los secadores de aire se encuentran contiguos a los compresores de aire, dentro del área de máquinas, cercano a las calderas de vapor y de aceite térmico por el método de secado del aire (método frigoríficos o refrigeración), a los equipos se les podrían aumentar la eficiencia si se redujera la temperatura del medio en el que se encuentra.

4.2.1. Análisis de los secadores según su capacidad

Los secadores refrigerativos SA-001 y SA-002 poseen las mismas condiciones de operación por ser de la misma marca y modelo, el SA-003 difiere en marca, por consiguiente sus características de operación son diferentes.

En la tabla XIV, se describe su capacidad en condiciones normales de operación y una comparación entre las unidades de secado.

Tabla XIV. Datos técnicos de secadores de aire

Descripción		Secadores Frigoríficos		
		SA-001	SA-002	SA-003
Sistema de Aire Comprimido	Caudal Volumétrico	115 scfm	115 scfm	222 scfm
	Pérdida de presión	2,9 psid	2,9 psid	-
	Punto de rocío a presión	35 °F	35 °F	37 °F
	Temperatura de aire de entrada a 100 °F, 100 psig y 100 °F Temperatura ambiente / ISO 7182 parte 2			
	Máxima presión de trabajo	230 psig	230 psig	174 psig
Sistema refrigerativo	Cantidad de condensado	34 oz/hora	34 oz/hora	-
	Bajo condiciones ideales			
	Cantidad de aire de refrigeración	1 320 cfm	1 320 cfm	-
	Bajo condiciones ideales			
	Gas refrigerante	R134a	R134a	R407C
	Cantidad de llenado	1,98 Lb	1,98 Lb	3,75 Lb
	Máxima presión de trabajo	260 psig	260 psig	276 psig
Requisitos de instalación	Altura máxima sobre el nivel del mar	3 000 ft	3 000 ft	-
	Temperatura mínima de ambiente	40 °F	40 °F	41 °F
	Temperatura máxima de ambiente	110 °F	110 °F	122 °F
	Temperatura máxima de entrada del aire comprimido	130 °F	130 °F	140 °F

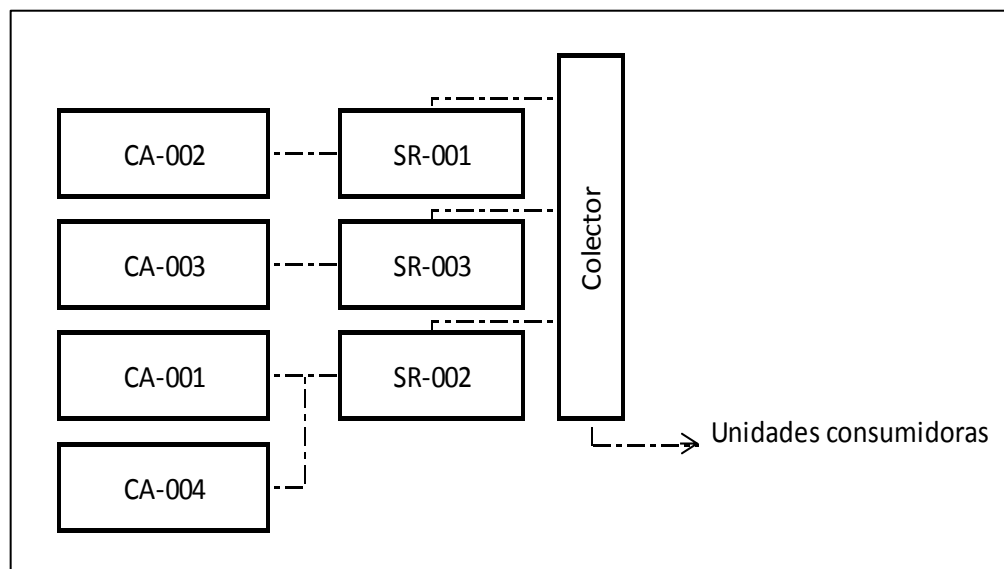
Fuente: elaboración propia.

A pesar de ser unidades diferentes en marca se puede notar que la mayoría de sus características de operación son similares, la gran diferencia entre las unidades SR-00, SR-002 y SR-003, es la capacidad de secado de SR-003 que es aproximadamente 52 por ciento mayor, es necesario hacerlo notar, porque el CA-003, es de mayor capacidad en comparación a las otras unidades compresoras, de modo que si se conectaría estaría subdimensionado.

4.2.2. Análisis de los secadores según su funcionamiento

Las tres unidades secadores (SR-001, SR-002 y SR-003) de aire que posee la empresa como anteriormente se había mencionado, son del tipo refrigerativo, en el esquema siguiente se muestra como están conectadas con las unidades compresoras, el colector o manifold y a las unidades consumidoras.

Figura 37. Diseño actual de la generación de aire comprimido



Fuente: elaboración propia.

En el esquema se observa que las unidades compresoras CA-001 y CA-004 están conectadas con una sola unidad secadora (SR-002) y que puede llegar a trabajar paralelamente, por diferentes causas como: servicio de mantenimiento preventivo, paro por avería o por requerimiento del consumo de planta, este secador estaría saliendo de su funcionamiento normal o nominal y poniéndose en riesgo. Esta situación puede llegar a tener varias consecuencias por fallas en este sistema. Por ejemplo:

- Temperatura de aire comprimido de entrada demasiado alta.
- Caudal volumétrico demasiado grande.
- Alto porcentaje de suciedad en el aire comprimido.
- Interruptor de presión de seguridad del sistema de refrigeración apague la unidad.

4.3. Distribución de aire comprimido

El mayor inconveniente que tiene la red del aire comprimido, es el diferencial de temperatura que existe en las diferentes áreas de la empresa, ya que dentro de las cámaras refrigeradas puede llegar a temperaturas entre 09 y 11 grados centígrados, y en áreas de cocción la temperatura oscila entre 24 a 28 grados centígrados, otro de los inconvenientes es la necesidad que ha habido de facilitar el uso de equipos para lavado y desinfección de equipos, paredes, pisos y techos. Porque se tienen alimentaciones de aire en todas las áreas con un porcentaje de utilización muy bajo aproximadamente de 0,5 por ciento por área y son ramales que demandan caudal y presión de aire comprimido.

4.3.1. Auditoría de la red de distribución de aire comprimido

En la medida de lo posible, debe procurarse que la red de aire comprimido no tenga fugas. El aire que se fuga inútilmente constituye un despilfarro de energía.

Además, ese aire desperdiciado tiene que generarse y prepararse primero, por lo que las fugas puede tener como consecuencia la necesidad de disponer de compresores y de otros componentes innecesariamente grandes.

Normalmente una auditoría se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad en este caso de energía de entrada al sistema sin afectar negativamente la salida, una auditoría energética tiene por objeto dar prioridad a los usos energéticos de acuerdo con el mayor a menor costo efectivo de oportunidades para el ahorro de energía manteniendo y mejorando al mismo tiempo la calidad del trabajo realizado por el aire comprimido.

4.3.1.1. Fugas

Análisis realizado por diversas empresas como SMC, KAESER y SULLAIR, estiman que alrededor de un 20 a 25 por ciento de la generación del aire comprimido se pierde en fugas dentro de la red del sistema de aire comprimido y en casos extremos hasta un 30 por ciento. Si la fuga tiene como consecuencia una pérdida correspondiente al 10 por ciento del caudal del compresor, es indispensable adoptar las medidas necesarias para solucionar este problema.

Además las fugas de aire pueden contribuir a la aparición de problemas de funcionamiento del sistema, entre los que se incluyen:

- Fluctuación de la presión del sistema que puede ocasionar que las herramientas neumáticas y cualquier otro equipo accionado por aire comprimido funcione de forma menos eficiente y esto puede afectar negativamente a la producción.
- Excesivo caudal de aire comprimido, implicando costos mayores de los necesarios.
- Disminución de la vida de los equipos de la instalación de aire (incluido el compresor) y aumento del mantenimiento necesario debido a los ciclos de cargas innecesarios y al aumento de las horas de funcionamiento.

A lo largo de un año, las pérdidas de aire pueden ser considerables, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla XV. Caudal fugado para diferentes presiones de aire y tamaño de orificios

Presión		Diámetro del orificio (mm)										
psi	bar	0,397	0,794	1,588	3,175	6,350	9,525	12,700	15,875	19,050	22,225	25,400
		Descarga en l/s										
1	0,07	0,013	0,053	0,212	0,85	3,389	7,646	13,546	21,24	30,538	41,583	54,28
2	0,14	0,019	0,075	0,299	1,194	4,767	10,76	19,116	29,878	43,046	58,528	76,464
3	0,21	0,023	0,092	0,366	1,463	5,853	13,12	23,364	36,58	52,392	71,744	93,456
4	0,28	0,026	0,105	0,421	1,68	6,75	15,15	26,904	42,102	60,416	82,6	107,62
5	0,34	0,029	0,117	0,469	1,874	7,505	16,85	29,972	46,87	67,496	92,04	119,89
6	0,41	0,032	0,128	0,514	2,048	8,213	18,46	32,804	51,448	73,632	100,54	131,22
7	0,48	0,034	0,138	0,552	2,209	8,826	19,92	35,4	55,224	79,296	108,56	141,6
9	0,62	0,039	0,156	0,623	2,502	10,01	22,51	39,978	62,304	90,152	122,72	160,01
12	0,83	0,045	0,179	0,717	2,865	11,47	25,77	45,784	71,744	102,9	140,18	183,14
15	1,03	0,05	0,198	0,793	3,172	12,7	28,56	50,976	79,296	114,22	155,29	202,96
20	1,38	0,058	0,232	0,925	3,71	14,82	33,37	59,472	92,512	133,58	181,72	237,42
25	1,72	0,066	0,265	1,062	4,239	16,94	38,18	67,968	106,2	152,46	207,68	271,4
30	2,1	0,075	0,299	1,194	4,767	19,12	43	76,464	119,42	172,28	234,11	305,86
35	2,4	0,083	0,332	1,326	5,334	21,24	47,67	84,96	132,63	191,16	260,07	339,84
40	2,8	0,092	0,365	1,463	5,853	23,41	52,86	93,456	146,32	210,51	286,5	374,3
45	3,1	0,1	0,399	1,595	6,372	25,54	57,58	101,95	159,54	229,86	312,46	408,28
50	3,4	0,108	0,432	1,728	6,938	27,66	62,3	110,92	172,75	249,22	338,9	442,74
60	4,1	0,125	0,5	1,997	7,882	31,91	71,74	127,91	199,66	287,45	390,82	510,7
70	4,8	0,142	0,566	2,261	9,062	36,2	81,66	144,9	226,09	325,68	443,21	579,14
80	5,5	0,158	0,632	2,53	10,1	40,45	91,1	161,9	252,99	363,91	495,6	647,11
90	6,2	0,175	0,699	2,794	11,19	44,75	100,5	178,89	279,42	402,62	547,99	715,55
100	6,9	0,192	0,765	3,063	12,27	49,09	110,4	195,88	306,33	440,85	600,38	783,99
110	7,6	0,208	0,831	3,328	13,31	53,34	119,9	213,34	332,76	479,55	652,78	852,43
120	8,3	0,225	0,902	3,597	14,4	57,58	129,3	230,34	359,66	517,78	705,17	920,87
125	8,6	0,233	0,935	3,729	14,92	59,47	134	238,83	372,88	537,14	731,13	954,86
150	10,3	0,275	1,119	4,46	17,7	70,8	159,5	283,2	429,52	620,68	844,41	1103,5
200	13,8	0,359	1,463	5,829	23,13	92,51	208,2	370,05	578,2	832,61	1133,3	1480,2
250	17,2	0,441	1,794	7,165	28,46	113,8	255,8	455,01	711,78	1023,8	1393,3	1820
300	20,7	0,47	2,303	8,534	33,89	135,5	304,9	541,86	847,24	1219,2	1659,1	2167,4
400	27,6	0,576	2,823	11,24	44,6	178,4	274,2	713,66	1113,9	1605,7	2185,4	2854,7
500	34,5	0,717	3,498	13,95	55,37	221,4	498	885,47	1383	1992,3	2711,6	3541,9
750	51,7	1,057	5,183	20,7	82,13	328,5	739,2	1314	2053,2	2956,6	4023,8	5256,2
1000	69,0	1,409	6,891	27,48	109	436,1	981,3	1744,5	2732,9	3925,2	5342,1	6978

Fuente: Ingersoll Rand. Air solutions Audits.

Dado que las fugas de aire no constituyen una contaminación del medio ambiente (a diferencia de lo que sucede con las fugas de combustibles o aceite), suele no tomarse muy en serio la solución de este problema. La fuga puede medirse en cantidad o porcentaje, observando el vaciado del depósito de aire comprimido. Concretamente, se mide en que tiempo disminuye una cantidad determinada de presión, al efectuar la medición, es necesario que todas las unidades consumidoras estén desconectadas y por supuesto no se debe alimentar aire comprimido al depósito.

Para determinar la cantidad de aire que se pierde por la fuga, se aplica la fórmula siguiente:

$$VL = \left(\frac{VB \times (pA - pE)}{t} \right)$$

Donde:

VL = Cantidad de aire perdido por la fuga, expresada en l/min

VB = Capacidad del depósito de aire comprimido en litros (l)

pA = Presión inicial en el depósito en bar

pE = Presión final en el depósito en bar

t = Duración de la operación de medición en min

Ejemplo No. 1

En un depósito de aire comprimido (capacidad de VB = 500 lt.) se constata una pérdida de presión de pA = 9 bar a pE = 7 bar transcurrida media hora (t = 30 minutos). ¿Cuánto aire pierde el sistema?

Datos:

VB = 500 lt. pA = 9 bar VL = ¿?

pE = 7 bar t = 30 min

Solución:
$$VL = \left(\frac{500 \times (9-7)}{30} \right) = 33,3 \frac{lt}{min}$$

A modo de alternativa se puede comprobar cuanto aire comprimido tiene que alimentar el compresor a la red para mantener la presión de trabajo normal.

También en este caso es necesario que las unidades consumidoras estén desconectadas. En el momento en que la presión de trabajo corresponde al nivel previsto, el compresor se desconecta. A continuación se produce la fuga de aire comprimido en la red, transcurrido un tiempo determinado (t_2), el compresor se vuelve a conectar debido a la caída de presión que se produjo en la red debido a la fuga. Además, tienen que medirse con un cronometro los tiempos de rellenado (t_1). Para obtener el valor porcentual correspondiente a la pérdida de aire comprimido en función de la cantidad de aire suministrada por el compresor.

Para determinar el valor porcentual del aire que se pierde por la fuga, se aplica la fórmula siguiente:

$$LV = \left(\frac{t_1}{t_2+t_1} \right) \times 100 \quad \text{En tanto por ciento}$$

LV = Pérdida de aire comprimido en tanto por ciento

t_1 = Tiempo necesario para recuperar la presión de red

t_2 = Tiempo de inactividad del compresor

Para obtener un resultado más preciso, es recomendable repetir la medición varias veces (siempre empezando en el momento en que se para el compresor).

Ejemplo No. 2

El tiempo de recuperación t_1 es de 1 minuto. El compresor se vuelve a conectar después de 10 minutos. En ese caso, las pérdidas ocasionadas por la fuga son las siguientes:

Datos:

$$t_1 = 1 \text{ min} \quad t_2 = 10 \text{ min} \quad LV = \text{¿?}$$

Solución:
$$LV = \left(\frac{1}{10+1} \right) \times 100 = 9,1\%$$

Para calcular un costo aproximado que generan las fugas se puede recurrir a la siguiente fórmula.

$$\text{Costoq} = [(qf)(Pe)(T)(Qq)]$$

Donde:

Costoq = Costo anual de pérdidas por fugas

qf = Caudal fugado en m^3/min

Pe = Potencia específica en $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{min})$

T = Tiempo transcurrido en horas

Qq = Costo $\text{kW} \cdot \text{h}$

Claro que es una aproximación si no se posee la información necesaria del diámetro del agujero de la fuga de aire comprimido (ver tabla) donde se tiene la pérdida del caudal, la mejor opción es realizar el cálculo del costo anual por fugas de la siguiente forma.

Ejemplo No. 3

Calcular los costos por pérdidas de aire comprimido, compresor con 36 kW de potencia, trabajando 3 000 horas por año, si el costo de electricidad es de 0,12 dólares kW*h, con una pérdida de 25 por ciento.

Solución:

Consumo anual:	$(36 \text{ kW}) \cdot (3\,000 \text{ h}) = 108\,000 \text{ kW}\cdot\text{h}$
Costos:	$(108\,000 \text{ kW}\cdot\text{h}) \cdot (\$ 0,12 / \text{kW}\cdot\text{h}) = \$ 12\,960$
Pérdidas por año:	$(\$ 12\,960) \cdot (0,25) = \$ 3\,240$

4.3.1.2. Accesorios con mayor índice de fugas

Aunque las fugas se pueden presentar en cualquier punto de la instalación, los sitios más frecuentes son los siguientes.

- Uniones de tuberías roscadas
- Mangueras por abrazaderas de cincho defectuosas
- Conexiones de tipo rápido por deterioro
- Unidades de mantenimiento o FRL's (filtros, reguladores y lubricadores)
- Drenajes de condensados
- Válvulas
- Prensaestopas

4.3.2. Análisis de auditoría

Para realizar el cálculo del porcentaje y cantidad fugado del aire comprimido generado por las unidades compresoras, se tabularon los siguientes datos.

Tabla XVI. Datos para fórmula de caudal fugado

Datos				
Descripción	Valor			
Volumen de depósito (VB)	150	Gal.	567,8	Litros.
Presión inicial del depósito (pA)	143	Psi.	10,1	bar.
Presión final del depósito (pE)	132	Psi.	9,1	bar.
Duración de la operación (min)	7	min.	7	min.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Cálculo de promedio de tiempos en carga-vació

Unidad compresora	Carga	Vació
	t1	t2
CA-004 Presión=110 SCFM=135	19,1	37,9
	19,9	34,4
	19,7	38,5
	19,3	37,6
	18,5	36,9
	19,0	36,5
	19,0	36,8
	18,4	37,6
Promedio	19,1	37,0

Fuente: elaboración propia.

Utilizando la fórmula para calcular la cantidad de aire fugado se encuentra que en la planta existe VL=80 lt/min. Que se está fugando diariamente.

Para calcular el porcentaje fugado se utiliza el promedio de datos tabulados se la tabla XVII.

Realizando el cálculo se encuentra que se tiene un LV=34,0%

Para obtener un resultado más preciso, es recomendable repetir la medición varias veces (siempre empezando en el momento en que se para el compresor). En ese caso, la fórmula es la siguiente:

$$VL = \frac{(Vk) \sum_{i=1}^n ti}{T}$$

Donde:

Vk = Caudal de compresor en m³/min

ti = Duración del ciclo "i" para recuperar la presión de la red

n = Cantidad de ciclos de recuperación de la presión de la red

T = Duración Total de la medición

De la tabla anterior se tiene los datos que se requieren para realizar el cálculo, Vk=135 pies cúbicos por minuto estándar (SCFM) equivale a 3,82 metro cúbico por minuto, ti=152,9 segundo equivale a 2,48 minutos, n=8 y T=7,5 minutos, entonces VL=1,26 metros cúbicos por minuto (m³/min), está pérdida equivale al 33 por ciento del caudal del compresor, el compresor sigue funcionando, a pesar de que las unidades consumidoras están desconectadas, esta situación es motivo de alarma, ya que las fugas representan un consumo innecesario.

4.4. Accesorios de la red de distribución de aire

Los accesorios mayormente utilizados en la red distribución, para trasladar hasta el punto de consumo de aire comprimido para efectuar un trabajo, son de diversos materiales y medidas por ejemplo; hierro galvanizado, bronce y en combinaciones con polímeros que van de ½ pulgadas hasta 4 pulgadas o más dependiendo del requerimiento del consumo de la instalación, por ejemplo:

- Válvulas
- Codos a 90°
- Codos a 45°
- Tees
- Cruces
- Reducidores
- Tubería

4.4.1. Análisis de los accesorios según la capacidad

Para el análisis se tiene que reforzar los criterios que sugiere el proveedor, esto significa que cada uno de los accesorios debe estar trabajando en condiciones de capacidad y aplicación dentro del rango establecido por el fabricante. Para garantizar su eficiencia.

En el plano de la red de distribución, la longitud de los tubos, la cantidad y el tipo de accesorios afecta directamente en la pérdida de presión, mientras más largos son los tubos, tanto mayor es la pérdida de presión en el punto de toma para las unidades consumidoras. Esto se explica por la rugosidad de la pared interior de los tubos y por la velocidad del caudal.

Una tubería que suele tener un diámetro de 1 pulgada (25 milímetros) puede contar con pérdidas de presión que se muestran a continuación en función del caudal y suponiendo una longitud nominal de 10 metros.

Tabla XVIII. **Pérdida de presión por caudal**

Caudal en Lit/seg.	Presión diferencial en bar
10	0,005
20	0,02
30	0,04

Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía, p. 68.

Otra limitación importante para el diseño de red, es la cantidad de derivaciones que puede poseer una tubería, ya que demasiadas piezas acodadas disminuyen la presión.

Tabla XIX. **Cantidad de derivaciones por diámetro de tubería**

Tubería de distribución		Cantidad de derivaciones								
		Diámetro interior en milímetros.								
Pulg.	mm.	3	6	10	13	19	25	38	51	76
½	13	20	4	2	1	-	-	-	-	-
¾	19	40	10	4	2	1	-	-	-	-
1	25	-	18	6	4	2	1	-	-	-
1.1/2	38	-	-	16	8	4	2	1	-	-
2	51	-	-	-	16	8	4	2	1	-
3	76	-	-	-	-	16	8	4	2	1

Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía, p. 63.

Ejemplo:

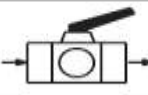

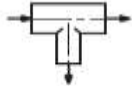
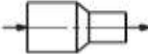
¿Cuántas derivaciones pueden haber como máximo en una tubería de distribución que tiene un diámetro interior de 51 milímetros?

Solución:

- 16 derivaciones de 13 mm
- 8 derivaciones de 19 mm
- 4 derivaciones de 25 mm
- 2 derivaciones de 38 mm
- 1 derivaciones de 51 mm

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

Tabla XX. **Longitud equivalente de accesorios en metros**

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

Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía, p. 70.

Ejemplo:

Una red de aire comprimido constituida por tubos de diámetro interior de 23 milímetros incluye los siguientes accesorios:

- 2 válvulas esféricas
- 4 codos
- 1 reductor
- 2 derivaciones en Tee

¿Qué cantidad de metros equivalentes (ficticios) deberán agregarse a la longitud real de los tubos para obtener una longitud relevante para el caudal?

Solución:

$$L_{equiv} = 2 \times 0,3 + 4 \times 1,5 + 1 \times 0,6 + 2 \times 2,0 = 11,2 \text{ metros.}$$

Esto significa que la longitud definitiva de los tubos que debe incluirse en el cálculo es la siguiente:

$$L_{total} = L_l + \sum_{i=1}^n L_{equiv}$$

Donde:

n = Cantidad de accesorios a tener en cuenta.

Para simplificar las operaciones de cálculo, también se puede aplicar un valor empírico:

$$L_{total} = 1,6 \times L_l$$

Ello significa que no es necesario tener en cuenta cada accesorio individual y sumarlo a la longitud real. Como se indicó antes, en caso de una tubería circular se puede suponer que la longitud corresponde a la mitad de la longitud real (y también a la mitad del caudal).

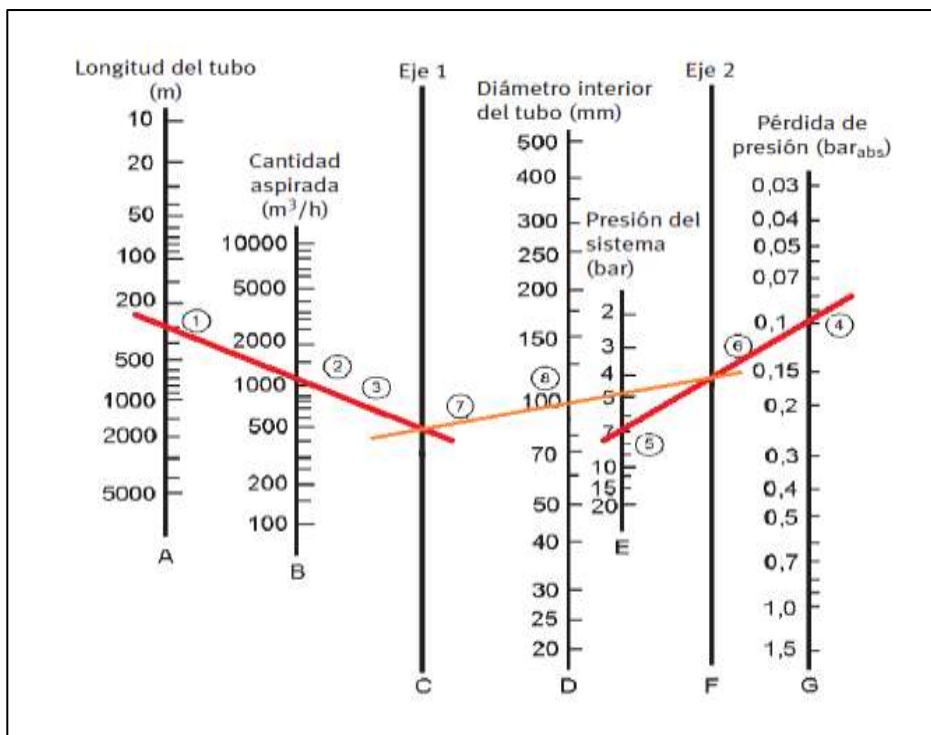
Es posible determinar el diámetro interior de los tubos a partir del siguiente monogramas, con los siguientes datos.

Ejemplo:

Utilice el monograma para encontrar el diámetro interior de la tubería a partir de la siguiente información.

- $L_{total} = 300 \text{ m}$
- Caudal = $21 \text{ m}^3/\text{min} = 1\,260 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión = 7 bar (700 000 Pa)
- Pérdida de presión = 0,1 bar (10 000 Pa)

Figura 38. **Monograma para determinar tuberías para aire comprimido**



Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía, p. 71.

Pero también se puede utilizar una fórmula de aproximación para obtener el diámetro interior del tubo:

$$d = \sqrt[5]{\left(1,6 * 10^3 * V^{1,85} * \frac{L_{total}}{\Delta P * P1}\right)}$$

Donde:

d = Diámetro interior del tubo en metros

P1 = Presión de funcionamiento en bar

ΔP = Pérdida de presión en Pascal (no debe de ser mayor a 0,1 bar)

Ltotal = Longitud nominal de la tubería en metros (valor corregido)

V = Caudal en metro cubico por segundo (m³/s)

Ingresando los valores del ejemplo anterior en la fórmula, el resultado de la evaluación nos es 0,099 metros aproximado 100 milímetros (mm).

- Elección de la tubería

Para elegir el material de los tubos utilizados en redes de aire comprimido, hay que tener en cuenta los siguientes factores: calidad del aire comprimido, dimensiones de los tubos, presión (máximo. 1 bar por pérdidas), fugas mínimas, condiciones del entorno, trabajo de montaje, costos del material, rigidez de los materiales y utilización de componentes auxiliares para el montaje y coeficiente de dilatación térmica del material.

La pérdida de presión también depende de la rugosidad de la pared interior de los tubos. En la tabla siguiente se ofrecen datos resumidos sobre la rugosidad de diversos tipos de tubos.

Tabla XXI. Factores de pérdida de presión debida a la fricción en la Tubería

Pies cubicos de aire por minuto	Diametro nominal en pulgadas																
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	1.3/4	2	2.1/2	3	3.1/2	4	4.1/2	5	6	8	10	12
25	316	50,0	13,6	3,2	1,4	0,7											
30	456	70,4	19,6	4,5	2,0	1,1											
35	621	95,9	26,6	6,2	2,7	1,4											
40	811	125,3	34,6	8,1	3,6	1,9											
45		159	44,0	10,2	4,5	2,4	1,2										
50		190	54,4	12,6	5,6	2,9	1,4										
60		282	78,3	18,2	8,0	4,2	2,2										
70		385	106,4	24,7	10,9	5,7	2,9	1,1									
80		503	139,2	32,4	14,3	7,5	3,8	1,6									
90		646	176,2	40,9	18,1	9,5	4,9	1,9									
100		785	217,4	50,5	22,3	11,7	6,0	2,3									
150			450	113,6	50,3	26,3	13,4	5,2	1,6								
200			870	202	85,74	46,7	23,9	9,3	2,9								
250				341	151	79,0	40,3	15,7	4,9								
320							61,1	23,8	7,5	3,5							
380							86,1	33,5	10,5	4,9	2,5						
500							150,0	58,0	18,3	8,5	4,3	2,4					
600							215	83,5	25,3	12,2	6,2	3,4					
700							294	113,7	35,8	16,6	8,5	4,6	2,5				
800							382	148,4	46,7	21,7	11,1	6,1	3,3				
850							433	158	25,8	24,4	12,5	6,8	3,8				
900							458	188	59,1	27,4	14	7,7	4,2				
950							541	209,4	65,9	30,5	15,7	8,8	4,7				
1000							600	232	73,0	33,8	17,9	9,5	5,2	1,9			
1500										76,1	39	21,3	11,8	4,4			
2000										135	69,3	37,9	20,9	7,8	1,8		
2500										212	108,2	59,2	32,6	12,3	2,9		
3000										305	156	65,2	47,0	17,7	4,1		
4000										542	277	151	83,6	31,4	7,3	2,2	
5000											433	236	131	49,1	11,5	3,4	
6000												341	188	70,7	16,5	5,0	1,9
7000												484	256	96,2	22,5	6,8	2,6
8000													335	125,7	29,4	8,8	3,6
9000													423	159	37,2	11,2	4,4
10000													523	195	45,9	13,6	5,4

Fuente: LÓPEZ, Rafael. Manual para instalaciones de vapor y aire. p. 132.

Las redes pueden estar constituidas por tubos de metal y/o material sintético. Hacer una comparación de las características técnicas de tubos neumáticos de metal y sintético resulta de especial interés para conocer las diferencias, a continuación se realiza una comparación más esquematizada entre estos dos tipos de tubos. Se sobreentiende que no existe un material ideal para la tubería de distribución de aire comprimido, la elección depende de las exigencias específicas que plantea cada aplicación.

Figura 39. Comparación entre tubos de diversos materiales

Características	Material del tubo			
	Acero	Cobre	Acero Inoxidable	Plástico
Presión superior a 12 bar	●	●	●	◐
Corrosión, calidad del aire	◐	◐	●	●
Temperatura hasta 20 °C	●	●	●	●
Temperatura hasta 50 °C	●	●	●	◐
Características de flujo	◐	●	●	●
Trabajo de montaje	◐	◐	◐	●
Masa por unidad de longitud	◐	◐	◐	●
Trabajo de mantenimiento	◐	●	●	●
Diámetro en 100 metros	◐	◐	●	●
Disponibilidad de válvulas y racores	●	◐	◐	●

Fuente: Festo, Aire comprimido. Fuente de Energía. p. 76.

- Pulmón o depósito de aire comprimido

Para que un sistema de aire comprimido funcione sin problemas, es necesario que no se produzcan picos de presión. Por ello se montan depósitos de aire comprimido inmediatamente detrás de los compresores o en la cercanía de mayor consumo de aire comprimido. Los depósitos tienen las siguientes funciones:

- Compensación de variaciones en el consumo de aire comprimido y picos de consumo pasajeros.
- Alimentación de emergencia de aire comprimido en caso de una interrupción en la red.

- Ahorro de energía mediante reducción de la frecuencia de conexión de compresores y de intensificadores de presión.
- Bajar la velocidad para enfriar el aire comprimido, por lo que es necesario montar un sistema de purga de condensado.

Los depósitos tienen que cumplir los requisitos siguientes:

- Calidad de la costura de soldadura
 - La capacidad de deformación
 - Resistencia al envejecimiento del material
 - Resistencia a la corrosión
- Dimensiones de los depósitos

El tamaño de un depósito de aire comprimido depende del tipo y rendimiento del compresor, de la presión de funcionamiento, de las oscilaciones de presión ocasionadas por la unidad consumidora y del sistema de regulación (el sistema de regulación es necesario si el compresor funciona pasajeramente). La oscilación del consumo de aire comprimido tiene especial importancia si solo hay pocos consumidores conectados a la red, pero que consumen mucho aire comprimido. Si existen muchas unidades consumidoras, las oscilaciones suelen compensarse, por lo que el consumo total de aire comprimido puede ser relativamente constante.

Selección del depósito por el funcionamiento de la unidad compresora: si el depósito tiene que entregar aire comprimido de modo continuo, su capacidad es suficiente si corresponde a 1/8 hasta 1/10 del caudal en metros cúbicos por minuto (m³/min). Este valor de referencia es válido si se utiliza un compresor de embolo con presión de trabajo normal de 10 bar sin regulación automática de la conexión y desconexión.

Si estas operaciones se regulan de modo automático, el depósito de aire comprimido tiene que ser más grande, ya que de lo contrario los ciclos de conexión serian demasiado cortos.

Selección del depósito en caso del consumo irregular de aire comprimido: el consumo se caracteriza por la alternancia irregular o regular de picos de consumo, bajo consumo o consumo nulo. El volumen del depósito V_{dep}, expresado en metros cúbicos, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{dep} = \frac{\Delta t_{cons}}{\Delta P} (V_{cons} - V_{ef})$$

Donde:

Δt_{cons} = Duración del pico de consumo en minutos

ΔP = Caída de presión admisible en el depósito, expresada en bar

V_{cons} = Pico de consumo en m³/min (aspiración)

V_{ef} = Cantidad efectiva en m³/min (Según ISO 1217, 0,6 m³/min)

A demás tiene que comprobarse si las pausas entre los consumos de aire son suficientes para que el depósito vuelva a estar lleno. El tiempo necesario para conseguirlo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta t_{llen} = \frac{(V_{dep})(\Delta P)}{(V_{ef})}$$

Selección del depósito en función de la frecuencia de conexión y desconexión: si el compresor no funciona de modo continuo, poniéndose en marcha únicamente si la presión en un depósito disminuye hasta un nivel de presión previamente definido, entonces debe tenerse en cuenta la cantidad de operaciones de conexión y desconexión del motor. Para evitar un desgaste prematuro, el motor en cuestión solo debe ponerse en marcha entre 6 y 10 veces por hora.

Para calcular el volumen necesario del depósito (V_{dep}) en metros cúbicos, deberá aplicarse la siguiente fórmula:

$$V_{dep} = \frac{15 * (V_{ef})(P1)}{(Zs)(\Delta P)}$$

Donde:

$P1$ = Presión del entorno en bar

Zs = Frecuencia de conexión en h^{-1}

ΔP = Diferencia de la presión de conexión en bar

Cuanto más operaciones de conexión y desconexión se admiten por unidad de tiempo, tanto menor puede ser el volumen del depósito.

Diseño del depósito en función de las unidades consumidoras: de acuerdo al flujo para el cual se está diseñando el sistema, se recomienda instalar depósitos para aire comprimido con una relación de 5 galones de capacidad del depósito por cada pie cúbico producido por el compresor.

En el caso de Empacadora Toledo, posee en uso 4 depósitos de 150 galones cada uno, que suman 600 galones los cuales pueden ser utilizados para aminorar el gasto de la compra de un depósito nuevo.

4.5. Mantenimiento actual de la generación y distribución del aire comprimido

Las estrategias convencionales de reparar hasta que se produzca una avería ya no sirven, fueron válidas en el pasado pero ahora se reconoce que esperar a que se produzca la falla o avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados por ejemplo: pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc. Y por ello la empresa impulso planes adecuados de prevención para los procesos.

El mantenimiento preventivo consiste en una acción planeada por medio de programas, tiene como objetivo detectar de manera anticipada las condiciones anormales de trabajo y solicitar la ejecución oportuna de trabajos de mantenimiento correctivo de carácter preventivo para que las fallas sean corregidas en su fase inicial.

Definición del mantenimiento preventivo: es conocer el estado de la maquinaria o equipo para planear y programar las actividades para eliminar las fallas que causan paros imprevistos de la producción. Esta labor se facilita cuando se posee el manual del fabricante de la maquinaria o equipo.

Un apropiado programa de mantenimiento preventivo posee varias funciones como por ejemplo:

- Aumentar la productividad.
- Aumentar la seguridad e higiene en el trabajo para el personal y para los equipos mismos.

- Reducir paros de producción así como también la probabilidad de falla.
- Reducir los costos de mantenimiento y operación.
- Evitar el rápido deterioro de los equipos y prolongar la vida útil de los mismos.
- Reparar con el mínimo tiempo y con la máxima durabilidad de la reparación las máquinas averiadas.
- Aseguramiento de la calidad exigida.

Ventajas del mantenimiento preventivo: como consecuencia de la aplicación de un programa de mantenimiento preventivo se tiene las ventajas siguientes:

- Prolongación de la vida útil de la maquinaria y equipo.
- Mejores condiciones de operación y seguridad de la maquinaria y equipo, ya que se conoce el estado físico de los mismos.
- Disminución de tiempo muerto debido a la programación de reparaciones, la maquinaria o equipo permanece menos tiempo fuera de servicio.
- Disminución de los costos de reparación ya que se evitan al máximo los costos por reparaciones imprevistas.

- Reducción de costos de inventario puesto que se reducen las existencias de repuestos ya que la necesidad de los mismos, se determina de una manera más precisa.

Con el mantenimiento preventivo se busca minimizar la probabilidad de falla, esto se realiza por medio de cuatro actividades básicas.

- Visitas o inspecciones: sirven para verificar el estado del equipo o instalación a través de inspecciones rápidas, periódicas y planificadas que no requieren acción de desmontaje alguno.
- Revisiones y ajustes: son inspecciones periódicas con la diferencia que en éstas si se hacen operaciones de desmontaje ya sea: sustitución de fajas, cojinetes, tornillos, etc. En este tipo de inspecciones es necesario realizar un paro o hacerlas cuando se tiene un paro programado de producción.
- Lubricación: es un punto primordial en el mantenimiento preventivo y consiste en la aplicación periódica de aceites y grasas, para evitar fallas debido al desgaste prematuro de las piezas, a causa de la fricción. Con una lubricación apropiada se obtienen varios beneficios tales como:
 - Reducción de costos de mantenimiento
 - Prolongación de la vida útil de la maquinaria o equipo
 - Reducción de paros de producción imprevistos
 - Ahorro en el consumo energético
- Limpieza: la limpieza de maquinaria o equipo es una parte vital para la aplicación del mantenimiento preventivo en cualquier tipo de industria, ya que permite detectar de una mejor forma las averías o fallas en el equipo y al mismo tiempo facilita la labor del personal de mantenimiento.

4.5.1. Análisis del mantenimiento preventivo de las unidades generadoras de aire comprimido

El servicio de mantenimiento preventivo para los compresores se realiza con una frecuencia de quince días, en la semana par, durante el turno nocturno, con una persona, por ser cuatro unidades compresoras se realiza un mantenimiento por día.

Nombre: MP CMB QUIN COMPRESOR DE AIRE

Código: CACMB001

Tabla XXII. **Servicio de mantenimiento a compresores de aire**

No.	Descripción de tarea
1	Revisar estado de aceite (nivelar si es necesario Aceite Solube 32)
2	Revisar estado de filtro de aire (aplica cada semana)
3	Sopletear filtro de aire (aplica cada 15 días)
4	Lavar y sopletear radiador
5	Limpiar unidad completa (compresor)
6	Limpiar trampa liberadora de condensado

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Análisis del mantenimiento preventivo de la red de distribución del aire comprimido

Actualmente la red de distribución del sistema de aire comprimido se realiza un programa de mantenimiento preventivo, inicio del 2012 con una frecuencia de quince días en la semana par (semana No. 2, 4, 8), durante el turno nocturno, con una persona. Y se realiza en la semana que se realiza el servicio de mantenimiento de las unidades compresoras.

Ha sido posible identificar fugas en las tuberías de servicio, pero no considerable. Las que se han identificado han sido en acoples del tipo rápido comúnmente conocidos como aro 210 y en mangueras rotas por la abrazadera metálica de tipo cincho, por el movimiento normal del uso.

No ha sido posible realizar una inspección de fugas a la línea principal y secundaria, y no se ha identificado fugas con equipo para sonidos fuera de la capacidad del oído humano (ultrasonido).

El listado de tareas que se realizan en este plan se describe en la siguiente tabla.

Nombre: MP CMB QUINCENAL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Código: SACMB003

Tabla XXIII. **Servicio de mantenimiento a secadores de aire comprimido**

No.	Descripción de tarea
1	Revisar línea principal para aire (Estado de tuberías, que no existan fugas ni corrosión)
2	Revisar estado en línea de alimentación de aire a equipos. Válvulas, acoples, abrazaderas y mangueras (cambiar si es necesario)

Fuente: elaboración propia.

Los hallazgos realizados en este plan de mantenimiento como se mencionó son muy pobres por las características del plan, a pesar que el plan tiene tareas claras, no cumple con lo que un plan de mantenimiento preventivo requiere, por ejemplo:

- Ruta de inspección clara, por área, subárea, equipos.
- Inspección de red de distribución con equipo especial (ultrasonido, agua jabonosa, etc.).

5. PROPUESTA PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

El reacondicionamiento es el proceso de mantenimiento, reparación y ordenamiento en este caso de las máquinas compresoras y secadoras de aire, el depósito y líneas de distribución del aire comprimido para realizar ya sea estéticamente o mecánicamente mejorar la eficiencia del sistema de generación, tratamiento y distribución.

5.1. Implementación de control para aire comprimido

Bajo una perspectiva amplia, el control es concebido como una actividad orientada a la organización hacia el cumplimiento de los objetivos propuestos bajo mecanismos de medición cualitativos y/o cuantitativos. Esto lleva a pensar que el control es un mecanismo que permite corregir desviaciones a través de indicadores a fin de lograr el cumplimiento de los objetivos claves para el éxito.


La implementación del control en el sistema de aire comprimido de Empacadora Toledo S. A., consiste en la validación y autorización por medio del supervisor de mantenimiento encargado de la generación y distribución del aire en nuevas líneas y la eliminación de líneas existentes por medio de formatos diseñados de tal manera que con información real y actualizada se pueda definir si existe o no algún tipo de inconveniente para las mismas.

5.1.1. Autorización de línea nueva de aire comprimido

Para registrar el consumo y tener la idea del estado en el que se encuentra el sistema de aire comprimido en la empresa, es necesario llevar un control que facilite y permita tener el estado actual teórico del sistema.

Con el fin de tener estos datos actualizados se propone la utilización de un formato (ver figura 40), que permita evaluar esos valores y tomar una decisión respaldada de habilitar una nueva línea de aire comprimido o incluso definir parámetros para la adquisición de equipos nuevos para la empresa.

Figura 40. Formato para habilitar una línea nueva de aire comprimido

Empacadora Toledo, S. A. Conservación industrial. Taller de servicios.		
Autorización de fabricación para una línea nueva de aire comprimido		No. _____
<u>Línea nueva</u>		
Área: _____	Sub-área: _____	
Nombre del equipo: _____	Código: _____	
Presión requerida	<input type="text"/>	PSI
Caudal requerido	<input type="text"/>	CFM
Diámetro de tubería de alimentación	<input type="text"/>	Pulgadas
Porcentaje de simultaneidad	<input type="text"/>	%
Porcentaje de utilización	<input type="text"/>	%
<u>Información Actual:</u>		
Presión del sistema	<input type="text"/>	PSI
Caudal promedio de consumo	<input type="text"/>	CFM
Línea principal _____	diámetro _____	Pulg.
El consumo total de planta no debe de sobrepasar los 557 CFM		
Solicitante: Nombre _____ Puesto _____	Autoriza: Nombre _____ Puesto: Supervisor C. I. (Embutidos y Servicios) Orden de Trabajo: _____	

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Autorización para la eliminación de línea de aire comprimido


Es de suma importancia que ramales de aire comprimido que no se utilicen sean eliminadas de la red de distribución, ya que son una carga energética para el sistema de aire por varias razones.

- Fuente potencial de fuga de aire
- Perdida de presión
- Carga para la generación de aire
- Punto más de inspección en la rutina de mantenimiento preventivo
- Condensación de la humedad
- Corrosión interna de la tubería por humedad estancada

Los formatos de habilitación y eliminación se llevaran con un registro o número de orden consecutivo, porque el de habilitación añadirá al sistema de aire una carga y el de eliminación restara una carga.

Figura 41. Formato para eliminar alimentación de aire comprimido

Empacadora Toledo, S. A.
 Conservación industrial.
 Taller de servicios.



Ficha para eliminación de una línea de aire comprimido No. _____

Eliminar Línea:
 Área: _____ Sub-área: _____
 Nombre del equipo: _____ Código: _____

Presión utilizada PSI
 Caudal utilizado CFM
 Porcentaje de simultaneidad % Ver tabla de porcentajes
 Porcentaje de utilización % Ver tabla de porcentajes

Información Actual:
 Presión del sistema PSI
 Caudal promedio de consumo CFM Sumar el Caudal promedio de consumo anterior

Línea principal _____ diámetro _____ Pulg.

Solicitante _____ Autoriza _____
 Nombre: _____ Nombre: _____
 Puesto: _____ Puesto: Supervisor C. I. (Embutidos y Servicios)
 Orden de Trabajo: _____

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento de formatos de habilitación y eliminación de líneas de aire comprimido.

- Persona solicita al supervisor encargado del área la habilitación o eliminación de la línea de aire comprimido.
- Supervisor encargado solicita a jefe de grupo evaluar el sistema de aire comprimido.
- Jefe de grupo recauda la información del sistema en la formato anterior de habilitación o eliminación.

5.1.3. Diseño para depósito de aire

Si se considera que la planta requiere cubrir un consumo alto de 445 pies cúbicos por minuto (CFM) y se calcula el diseño del depósito en función de las unidades consumidoras (ver sección 4.1.1.), se debería tener un depósito de 2 755 galones.

Se debe tomar en cuenta que existe una capacidad instalada (ver sección 3.3.2.5.) que se puede utilizar para bajar la capacidad y con esto el costo de un depósito nuevo que se ajuste con la capacidad teórica necesaria.

Tomando en cuenta este factor, la empresa deberá invertir en un depósito con una capacidad de 2 155 galones, buscar en el mercado local guatemalteco un depósito que se ajuste a este requerimiento y de no haber tomar un valor cercano para no comprometer la eficiencia del sistema de aire.

5.1.4. Identificación para accesorios y/o equipos de consumo de aire comprimido

En Empacadora Toledo, S. A., se cuenta con una descripción codificada de cada una de las áreas por línea de producción con sus diferentes etapas en el proceso y las diferentes áreas auxiliares.

En la tabla XXIV, se muestra el listado de los códigos para cada una de las ubicaciones y su descripción para cada una de ellas.

Esta ubicación es suficiente y necesaria para la identificación de una alimentación de aire comprimido de una máquina del proceso o localización de la red de distribución del mismo, para realizar una reparación en tuberías o accesorios por deterioro o fugas que requieran ser reparadas. También es útil para la identificación de la ruta de inspección en un mantenimiento preventivo, ya sea de fugas en la red de distribución o una inspección VOSO de las instalaciones.

Tabla XXIV. Código de ubicaciones dentro de planta

Listado de ubicaciones	
Ubicación	Descripción
1	PLANTA AMATITLAN
10	EDIFICIOS E INSTALACIONES
101	CAMARAS
102	OFICINAS
103	BODEGAS
104	AREAS COMUNES
105	TALLERES
106	EXTERIORES
107	Bodega Instalaciones Aliansa
11	PRODUCCION EMBUTIDOS JAMONES
111	FABRICACION EMBUTIDOS JAMONES
112	COCINA EMBUTIDOS JAMONES
113	EMPAQUE EMBUTIDOS JAMONES
12	PRODUCCION EMBUTIDOS SALCHICHA
121	FABRICACION EMBUTIDOS SALCHICHA
122	COCINA EMBUTIDOS SALCHICHA
123	EMPAQUE EMBUTIDOS SALCHICHA
13	PRODUCCION FORMADOS
131	FORMADO
132	EMPAQUE FORMADOS
14	PRODUCCION ENVASADOS (fuera de uso)
141	ENVASADOS (fuera de uso)

Fuente: empacadora Toledo, S. A.








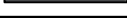


5.1.5. Identificación para líneas de distribución

Existen varias normas que estandarizan la utilización de colores en el transporte por tuberías y accesorios de fluidos, con el fin de facilitar la identificación de la naturaleza, estado y sentido de circulación del mismo.

Actualmente Empacadora Toledo, S. A., se encuentra certificada bajo la norma HACCP que es un sistema de control de calidad que garantiza que los alimentos que se elaboran son producidos con inocuidad, en esta norma no se especifica la utilización o identificación de la tubería para transporte de fluidos. Por lo anterior, se define que la mejor opción por racional, actual y eficaz para identificar la red de distribución es la norma DIN-2403.

Los colores básicos y complementarios a utilizar en las conducciones serán los descritos en la siguiente tabla dado por sus coordenadas cromáticas.

Tabla XXV. **Coordenadas de colores de tubería según DIN-2403**

Color		Coordenadas Cromáticas		Factor de Luminancia (%)
		x	y	
Verde		0,273	0,399	9,2
Rojo		0,602	0,324	7,5
Azul		0,190	0,185	8,11
Amarillo		0,480	0,481	60,6
Negro		0,293	0,307	3,8
Blanco		0,310	0,320	84,4
Gris		0,314	0,328	28,7
Marrón		0,389	0,362	13,5
Naranja		0,577	0,383	19
Violeta		0,333	0,237	13,8

Fuente: Norma DIN 2403 señalización de tuberías. p. 36 y 37.

Los colores indicativos por tipo de fluido se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XXVI. **Colores indicativos para transporte de tubería según DIN-2403**

Fluido	Color básico	Estado fluido	Color complementario	Ejemplo
Aceites	Marrón	Gas-oil	Amarillo	
		De alquitrán	Negro	
		Bencina	Rojo	
		Benzol	Blanco	
Acido	Naranja	Concentrado	Rojo	
Aire	Azul	Caliente	Blanco	
		Comprimido	Rojo	
		Polvo carbón	Negro	
Agua	Verde	Potable	Verde	
		Caliente	Blanco	
		Condensada	Amarillo	
		A presión	Rojo	
		Salada	Naranja	
		Uso industrial	Negro	
Residual	Negro + Negro			
Alquitrán	Negro			
Bases	Violeta	Consentrado	Rojo	
Gas	Amarillo	Depurado	Amarillo	
		Bruto	Negro	
		Pobre	Azul	
		Alumbrado	Rojo	
		De agua	Verde	
		De aceite	Marrón	
		*Acetileno	Blanco + Blanco	
		*Acido carbónico	Negro + Negro	
		*Oxigeno	Azul + Azul	
		*Hidrógeno	Rojo + Rojo	
*Nitrógeno	Verde + Verde			
*Amoniaco	Violeta + Violeta			
Vacío	Gris			
Vapor	Rojo	De alta	Blanco	
		De escape	Verde	

Fuente: Normas DIN 2403. p. 40.

- Forma de aplicación

Las tuberías podrán pintarse con el color básico en: toda su longitud o en una banda longitudinal. Siempre se pintará en proximidad a válvulas, empalmes, salidas de empotramiento y aparatos de servicio que formen parte de la red de distribución.

La anchura del anillo del color complementario como mínimo igual al diámetro de la tubería, cuando el color básico sea pintado en forma de banda longitudinal, el anillo se sustituirá por una banda transversal de la misma altura que la de la banda de color básico.

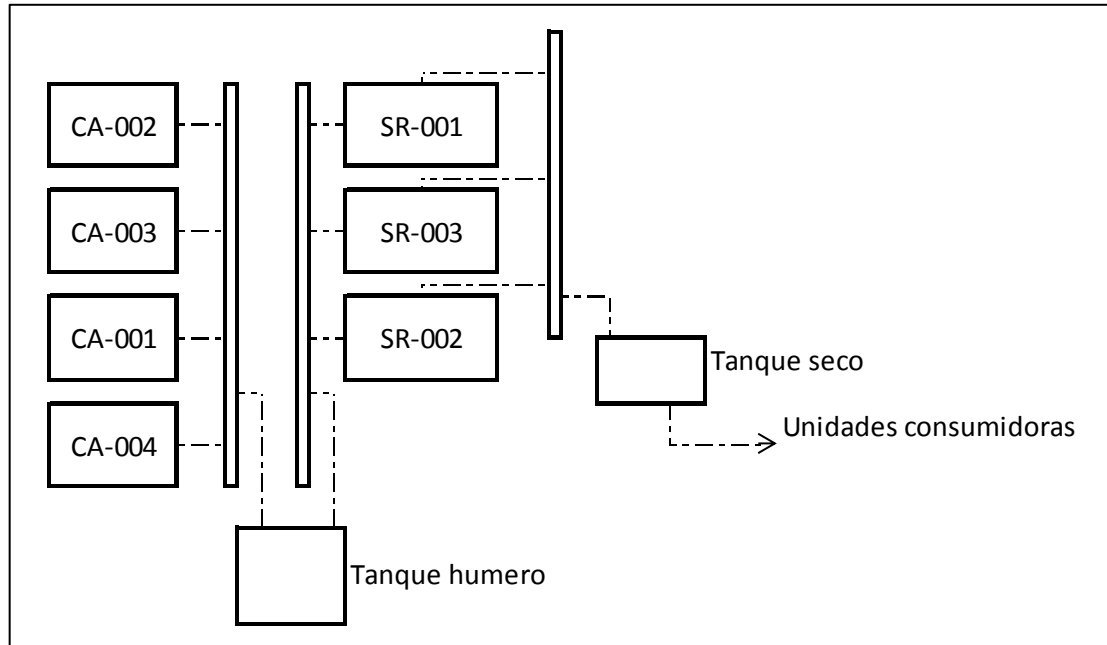
Cuando sea necesario reflejar el sentido de circulación del fluido transportado, se podrá indicar mediante: una flecha de color blanco o negro, de forma que contraste con el color básico de fondo.

En caso de utilizarse la señalización mediante una banda longitudinal, el sentido de circulación podrá determinarse por la extremidad puntiaguda de la banda.

5.2. Propuesta para el cuarto de compresores de aire comprimido

En la figura 42 se muestra la propuesta del acondicionamiento de los actuales elementos con lo que cuenta la empresa con el propósito de aumentar la eficiencia del sistema de generación y tratamiento del aire comprimido, en la propuesta se debe de contar con dos depósitos de aire comprimido con el dimensionamiento propuesto en la página 69.

Figura 42. **Propuesta de reacondicionamiento de unidades compresoras**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Propuesta de reacondicionamiento en la red de distribución

Para calcular el consumo teórico aproximado de las instalaciones, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$V_m = \sum_{i:1}^n \left(A_i \times V_i \times \frac{D_i}{100} \times F_{Si} \right)$$

Donde:

V_m = Caudal medio.

i = Variable de control.

n = Cantidad de diversas unidades consumidoras.

A = Cantidad de unidades.

V = Consumo de aire comprimido por unidad consumidora en l/s.

D = Duración de la conexión en porcentaje, es un valor empírico tomando en cuenta que la mayoría de las unidades consumidoras no están funcionando constantemente.

FS = Factor de simultaneidad, es también un valor empírico, las máquinas que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo.

De la tabla XXVII se puede aplicar la duración de conexión (grado de utilización) y el factor de simultaneidad para calcular el caudal medio que requiere la instalación de aire comprimido.

Tabla XXVII. Listado de equipos con grado de utilización y factor de simultaneidad

Área	Sub-Área	Código de equipo	Presión en PSIG	Consumo en Litros/seg.	Grado de Utilización (%)	Factor de simultaneidad
Jamones	Fabricación	MP-001	100	10	15	0.7
		BM-001	85.34	0.03	5	0.55
		BM-002	85.34	0.03	5	0.55
		H&S x 1	110	13	8	0.2
	Producción	EH-001	80	5	2	0.8
		CG-005	87.02	2.5	25	0.8
		DM-005	95	16	5	0.7
		FC-008	110	16	20	0.8
		NDP 15	80	2.83	25	0.8
		H&S x 2	110	26	4	0.65
		HV-001	95	16.67	25	0.8
	Cocina	HV-002	95	16.67	25	0.8
		HV-003	95	16.67	25	0.8
		H&S x 2	110	26	4	0.75
		SV-001	101.53	20	28	0.8
	Empaque	SV-002	101.53	20	28	0.8
		DM-003	95	16	5	0.75
		RJ-001	87.02	0.25	15	0.8
		RJ-002	87.02	0.25	15	0.8
		CG-002	87.02	1.67	10	0.7
NDP 15		80	2.83	35	0.8	
H&S x 3		110	39	2.5	0.8	

Continuación de la tabla XXVII.

Salchicha	Fabricación & Producción	EH-002	80	5	2	0.7
		AM-001	85.34	10	40	0.75
		CG-003	87.02	2.5	10	0.7
		AM-002	85.34	10	35	0.8
		AM-003	85.34	10	35	0.85
		AM-004	85.34	10	35	0.85
		PD-002	72.52	0.02	20	0.75
		DM-006	95	16	5	0.75
		DM-007	95	16	5	0.75
		DM-008	95	16	5	0.7
		TO-001	75	0.05	50	0.8
		TO-002	75	0.05	50	0.8
		H&S x 2	110	26	4	0.85
	Cocina	HV-004	75	0.00033	15	0.8
		HV-005 x 2	87.02	0.15	35	0.55
		HV-006 x 5	116.03	3.08	35	0.7
		H&S x 4	110	52	2	0.85
	Empaque	SV-003	101.53	20	25	0.8
		SV-004	101.53	20	25	0.8
		SV-005	101.53	20	25	0.8
SV-006		101.53	20	25	0.8	
SV-007		101.53	20	25	0.8	
PS-001		75	4.72	8	0.75	
NDP 20 x 2		80	9.44	28	0.8	
H&S x 1	110	13	8	0.75		
Formados	Línea de Producción	HC-001	60	1.08	50	0.65
		HC-002	60	1.08	50	0.65
		FM-003	87.02	5	50	0.8
		FM-004	87.02	5	50	0.8
		EM-003	87.02	3.83	50	0.65
		EM-004	87.02	3.83	50	0.65
	Empaque	H&S x 4	110	52	10	0.8
		DM-004	95	16	10	0.75
		DM-009	95	16	10	0.7
		EB-001	85	16.52	45	0.75
		EB-002	85	16.52	45	0.7
		EB-003	85	16.52	45	0.8
		TU-002	60	1.08	5	0.75
TU-004	60	1.08	5	0.75		
H&S x 2	110	26	10	0.8		
I&D	Cámara de I&D	BM-004	60	1.08	0.5	0.85
C. I.	Talleres	CV-001	11	7.79	15	0.85
		CV-002	22	9.91	15	0.85
		CF-001	60	1.08	10	0.8
		Servicio x 5	85	65	1.5	0.85
Pasillos	pasillos y muelles	H&S x 13	110	196	1	0.75
Exteriores	Gasolinera	Servicio x 1	80	18	10	0.8
	Compresores x 2	Servicio x 2	80	36	5	0.8
	Cuarto Pintura	Servicio x 1	80	8	10	0.85

Fuente: Empacadora Toledo, S. A.

Aplicando la fórmula, se encuentra que el caudal medio (V_m) es 108,59 litros por segundo (l/s), este valor se tiene que corregir una vez más con la siguiente fórmula.

$$V = \left[V_m + \left(V_m \times \frac{Ar}{100} \right) + \left(V_m \times \frac{Ar}{100} \times \frac{Fu}{100} \right) \right] \times 2$$

Donde:

V = Caudal

Ar = Reserva para posibles ampliaciones

Fu = Consideración de posibles fugas (por ejemplo, 10%)

La duplicación (multiplicador 2) de caudal tiene la finalidad de compensar picos de consumo que superan el consumo medio aire entre un 20 y 60 por ciento del consumo de aire máximo del aire.

Realizando el cálculo por fórmula, se tendría que es necesario un caudal de 241,06 litros por segundo (l/s) con Ar= 10% y Fu=10%

Para calcular el diámetro de la tubería se realiza por medio del monograma utilizado en la sección 4.4.1, con los siguientes datos obtenidos en esta sección.

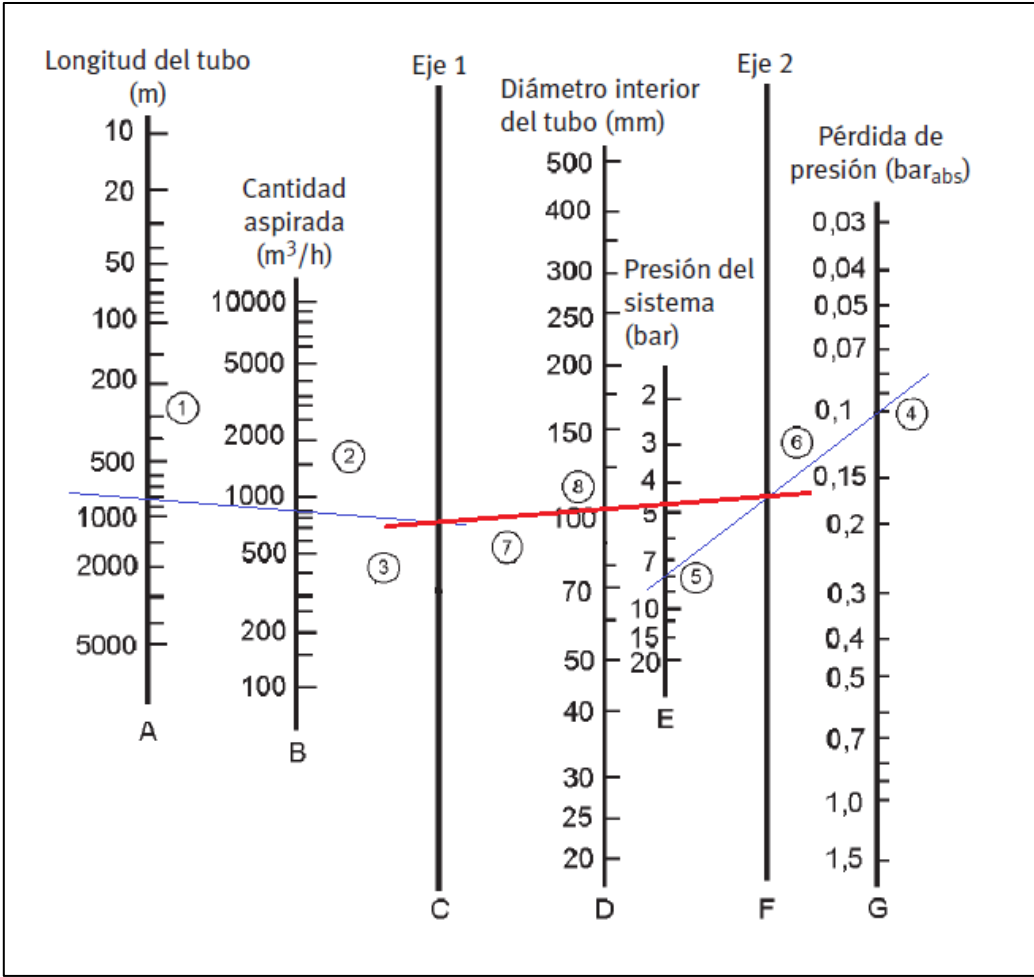
$L_{total} = 814 (1,6) = 1\ 302,4$ m (ver tabla XI, tubería principal)

Caudal = 241,06 l/s = 867,6 m³/h

Presión = 8 bares (ver tabla X, presión máxima requerida en la red)

Perdida de presión = 0,1 bar

Figura 43. **Monograma para determinar el diámetro de la tubería para la planta**



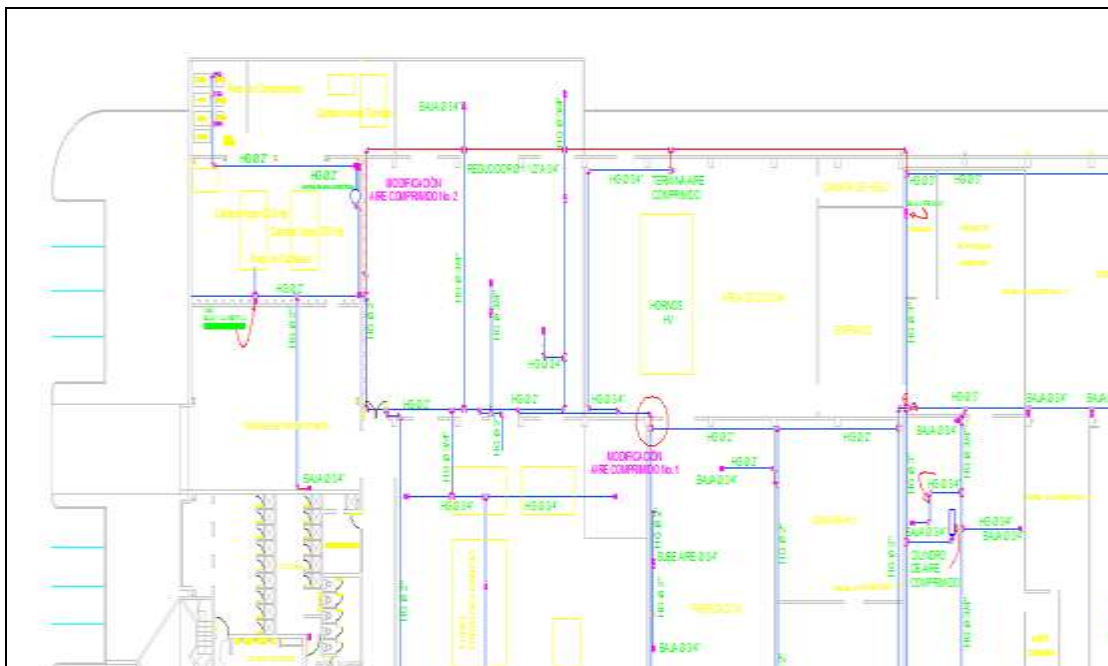
Fuente: elaboración propia.

El resultado que se encuentra es de 100 milímetros aproximadamente, eso quiere decir que se debería tener una tubería de 3,9 pulgadas en la industria no se encuentra esta medida, por lo cual se tiene que subir al próximo inmediato que es 4 pulgadas.

En la evaluación de la red de distribución de aire comprimido, se encuentra que debe de realizarse un par de modificaciones con el fin de cerrar dos circuitos que actualmente se encuentra abiertos y así poder aumentar la eficiencia de la red de distribución.

Las modificaciones esta identificadas con una línea continua de color rojo en el plano siguiente.

Figura 44. **Propuesta de modificación de la red de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia.

Esta modificación incluye la utilización de los siguientes materiales para adaptar la red de distribución actual a la propuesta por este trabajo de graduación.

Tabla XXVIII. **Materiales para la propuesta de modificación de la red de aire comprimido**

Cantidad	Descripción
64	Metros tubos de 3" en hierro galvanizado
2	Codos de 3" a 90° en hierro galvanizado
1	Codos de 2" a 90° en hierro galvanizado
2	Cruz de 3" en hierro galvanizado
5	Reducidores de 3" a 2" en hierro galvanizado
1	Reducidores de 3" a 3/4" en hierro galvanizado
1	Reducidores de 2" a 3/4" en hierro galvanizado
1	Tee de 2" en hierro galvanizado
4	Tee de 3" en hierro galvanizado

Fuente: elaboración propia.

5.4. Propuesta de rutinas para mantenimiento preventivo para la generación y red de distribución de aire comprimido

El mantenimiento es el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, en este caso a las que comprenden todo lo relacionado a la generación y distribución de aire comprimido. Esto con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados, el mantenimiento propuesto para la red de aire comprimido es de tipo preventivo con el objetivo principal de, la conservación del servicio que presta el aire comprimido a la planta y mejorar la calidad y disponibilidad del aire comprimido en todas las áreas de proceso, mediante el reguardo de los equipos y accesorios para que garanticen su funcionamiento.

Plan propuesto para el mantenimiento preventivo de unidades compresoras, se deberá de realizar con una persona durante el turno diurno. Para los mantenimientos semestrales y anuales se deberá de solicitar el servicio al personal técnico especializado para cada una de las marcas de las unidades compresoras.

Tabla XXIX. **Rutina y tareas de mantenimiento preventivo para las unidades compresoras de aire**

Intervalo	Tareas de Mantenimiento
Diariamente	Inspección de nivel de refrigerante
	Inspección de temperatura de descarga de aire
	Inspección de elemento separador
	Inspección de filtro de aceite
	Inspección de filtro de aire
Semanalmente	Sustituir el filtro refrigerante*.
Mensualmente	Revisión de sensor de temperatura del aire comprimido*
Trimestralmente	Inspección de contactos de arrancador
Semestralmente	Sustituir el filtro refrigerante*
	Limpieza de núcleo del refrigerador**
Anualmente	Limpieza del orificio de barrido
	Sustitución del filtro de aire*
	Sustitución del elemento separador*
	Limpieza de contactos de arrancador
Bianualmente	Reemplazo del aceite*

Fuente: Sullair, manual de operación. p. 61 a 65.

* En ambientes de operación y en donde el filtro de aire de admisión se cambia a los intervalos prescritos arriba cuando el ambiente es demasiado sucio, hay que cambiar los elementos del separador. Los filtros y el refrigerante más frecuentemente.

** Limpie el núcleo del refrigerador si la temperatura del aire es excesiva o si el paro de la unidad ocurre por alta temperatura.

Plan propuesto para el mantenimiento preventivo de unidades secadoras frigoríficas, se deberá de realizar con una persona durante el turno diurno. Para los mantenimientos semestrales y anuales se deberá de solicitar el servicio al personal técnico especializado para cada una de las marcas de las unidades compresoras.

Tabla XXX. **Rutina y tareas de mantenimiento preventivo para secadores de aire**

Intervalo	Tareas de Mantenimiento
Diariamente	Revisión del control de operación de descarga de condensado
Quincenalmente	Lavar, sopletear y revisar estado de radiador
	Enderezar o peinar laminillas de radiador (si están torcidas)
	Revisar trampa de expulsión de humedad
Mensualmente	Limpieza del control de operación de la salida de condensados
	Limpieza del condensador
	Limpieza de la válvula de diafragma
Trimestralmente	Revisión de controles generales
Anualmente	Limpieza de la salida de condensados

Fuente: KAESER, Compresores. Manual de Servicio, secador refrigerativo TC 31. p. 31.

Plan propuesto para el mantenimiento preventivo de la red de distribución de aire comprimido. Para realizar este servicio se propone que se utilicen los siguientes formatos para facilitar la identificación y el seguimiento de los hallazgos realizados a la red de distribución de aire comprimido.


Localización por fuga identificada: este formato identificara la ubicación especificada dentro de la empresa de la fuga encontrada, identifica el área de la línea o ramal y el equipo donde se localice una fuga.

Requerimiento para la ruta de inspección de fugas:

- Equipo de Ultrasonido Ultraprobe 10 000.
- Sensor para barrido, serie No. LRM 993225, con una frecuencia a 40 kHz.
- Sensor proximidad, serie No. S/M: 102656 con un aditamento especial para localización de fuga y una frecuencia a 30 kHz.
- Sensibilidad media.

Figura 45. Formato para reportar fugas en la red de aire comprimido

Empacadora Toledo, S. A.
Conservación Industrial
Taller de Servicios
Verificación de Fugas



Instrucciones: Realizar la revisión según la ruta programada por la tubería de distribución del aire comprimido y las derivaciones del mismo, es debe de utilizar el equipo de ultrasonido Ultra Probe 10000 y de tener alguna duda duplicar la revisión remojando con agua jabonosa, describir la ubicación de cualquier anomalía en la Red de aire comprimido en la columna de Observaciones de la tabla.


No.	Área	Sub-área	Tomas de aire comprimido	Observación
1	Talleres	Calderas y MAIN		
2		MECA Y ELEC		
3		REFRI y FORM		
4		SOLD		
5	Exteriores	Cuarto de Pinturas		
6		Entretecho Jamones y formados		
7		Entretecho Salchicha		
8		Compresores		
9	Formados	Producción		
10		Empaque		
11	Jamones	Fabricación		
12		Producción		
13		Cocina		
14		Empaque		
15		Producción		
16	Salchicha	Cocina		
17		Empaque		
18		Pasillo Formados		
19	Áreas	Pasillo Empaques		
20	Comunes	Pasillos Salchicha		
21		Muelle		

Fuente: elaboración propia.

Inspección de Instalaciones de aire comprimido: este formato se identificarán las desviaciones existentes o mejoras que se pueden realizar después de una evaluación para programar la reparación y/o modificación.

Figura 46. Formato para reportar desviaciones en las instalaciones de red de aire comprimido

Empacadora Toledo, S. A.
Conservación Industrial
Taller de Servicios
No conformidad de la instalación de red de distribución del aire comprimido



Instrucciones: Reportar daños, defectos, malas practicas de uso y mal diseño de la red de distribución de aire, describir claramente la ubicación y la no conformidad.

No.	Área	Sub-área	Descripción de la no conformidad
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La Planta Empacadora Toledo, S. A., tiene una red de distribución de aire comprimido con oportunidades de mejora, ya que tiene diámetros inadecuados, circuito principal mal diseñado.
2. El aumento del diámetro de la tubería, provoca una disminución en la caída de presión de una red de distribución de aire comprimido. Por tal razón se calculó el diámetro óptimo para evitar el efecto de caída de presión por un diámetro reducido.
3. La identificación de los circuitos en el diagrama de la red de aire comprimido permiten identificar rápidamente oportunidades de mejora en la red de distribución de aire comprimido.
4. En la modificación propuesta para la red de distribución de aire comprimido, se obtendría un circuito principal del tipo cerrado.
5. Un problema con el depósito actual es su capacidad de almacenaje, por lo que elimina su cualidad de amortiguar picos de consumo en el sistema de distribución del aire comprimido en la empresa.
6. Actualmente no se cuenta con un depósito húmedo, esto podrá disminuir la cantidad de condensado a evacuar en las unidades secadoras frigoríficas.

7. Las unidades generadoras y secadoras del aire comprimido están ubicadas dentro de un ambiente que puede mejorar su eficiencia si se modifica el entorno.
8. La presión de aire generada por las unidades compresoras esta sobre la presión máxima requerida por las unidades consumidoras aproximadamente un 16 por ciento.
9. La pérdida de aire comprimido por fuga en la empresa se encuentra al límite de los requerimientos para diseñar un sistema de aire comprimido.
10. Actualmente no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para la red de distribución de aire comprimido.
11. La capacidad de las unidades secadoras está por debajo de los requerimientos del proceso, aproximadamente un 10 por ciento.

RECOMENDACIONES

1. Adquirir dos depósitos para aire comprimido y que con sus capacidades sumen un mínimo de 2 155 galones para utilizar uno como tanque húmedo y el otro como tanque seco, para poder reorganizar el sistema de generación de aire comprimido (compresores de aire, secadores de aire comprimido, depósitos y colectores) de acuerdo el diseño de la figura 42 (capítulo 5).
2. Cerrar el circuito general de la planta en los puntos estratégicos de acuerdo con la figura 44 (capítulo 5), esto aumentará la eficiencia que existe actualmente en la red de distribución de la empresa.
3. Ampliar la tubería de distribución principal a 4 pulgadas, de acuerdo a la figura 43 (capítulo 5) en cuanto la situación económica lo permita, para que la red de distribución funcione mejor y se pueda disminuir la caída de presión generada por la tubería actual.
4. Implementar un plan de mantenimiento preventivo para la detección de fugas, para disminuir el 30 por ciento de pérdidas generado por este efecto, capacitando al personal, realizando una ruta de inspección por área en rutinas periódicas con el equipo de ultrasonido que posee Empacadora Toledo y reportar las desviaciones en los formatos propuestos en este trabajo de graduación (ver figura 45 y 46).

5. Aplicar las modificaciones al plan de mantenimiento preventivo de unidades compresoras y secadoras para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de las unidades de acuerdo con las tablas XXVII y XXVIII.

6. Utilizar los formatos de autorización de línea nueva (ver figura 40) y eliminación (ver figura 41) de alimentaciones de aire comprimido, para conocer la situación puntual del sistema de aire comprimido y así poder dar una respuesta respaldada que el sistema puede o no colapsar si no se tiene cuidado necesario.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER, E. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Gustavo Gili, 1977. 224 p.
2. CARCINER ROYO, Enrique. *Teoría y cálculo de las instalaciones*. Madrid: Paraninfo, 1991. 120 p.
3. GODOY, Miguel; AYALA, Mynor. Empacadora Toledo, S. A. *estudio del sistema de generación de aire comprimido*. Guatemala: Kaeser Compresores de Guatemala, 2009. 63 p.
4. HESSE, Stefan. *Aire comprimido, fuente de energía*. En *La distribución del aire comprimido*. Alemania: Festo AG, 2002. 104 p.
5. Inversión de Q.100 millones. [en línea], <http://www.prensalibre.com/economia/Inversion-Q100-millones_0_146385923.html>. 28/03/2007. [Consulta: 12 de marzo de 2011.]
6. JUÁREZ PIZZA, Pedro Antonio. *Diseño, montaje y mantenimiento de sistemas de aire comprimido*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 118 p.

7. OLMSTEAD ZAMORA, Sergio Estuardo. *Propuesta de fabricación de un sistema de aire comprimido estéril para el proceso de llenado de envase en una empresa de bebidas carbonatadas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 115 p.