



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

**DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE  
GRASAS Y ACEITES**

**Hugo Aston Gutierrez Zamora**

Asesorado por el Ing. Esaú Juventino Esteban Girón

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE  
COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS  
EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HUGO ASTON GUTIERREZ ZAMORA**

ASESORADO POR EL ING. ESAÚ JUVENTINO ESTEBAN GIRÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Alvarez Cotí
EXAMINADORA	Inga. Glenda Roxana Álvarez
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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:

### **DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 25 de enero de 2017.

**Hugo Aston Gutierrez Zamora**

Guatemala, 10 de febrero de 2017

Ingeniero

José Francisco Gómez Rivera

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Respetable ingeniero:

Por medio de la presente le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante: **Hugo Aston Gutierrez Zamora** con carnet 201213167 de la carrera de ingeniería mecánica industrial cuyo título es:

**“DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES”.**

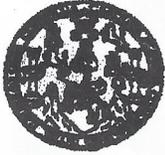
Considero que el trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo ante usted,

Ing. Esau Juventino Esteban Girón



Colegiado No. 6723



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Aston Gutierrez Zamora**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Nora Leonor Elizabeth García Tobar  
Ingeniera Industrial  
Colegiado No. 8121

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.144.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Aston Gutierrez Zamora**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

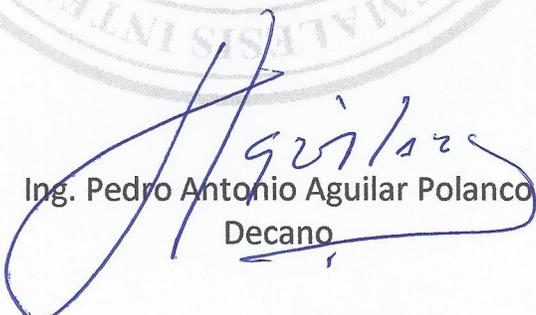


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 452.2017

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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA DETERMINAR PÉRDIDAS Y ANÁLISIS DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES**, presentado por el estudiante universitario: **Hugo Aston Gutiérrez Zamora** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Susy Zamora y Luis Gutierrez, por haberme dado la vida, por su amor incondicional y por haberme apoyado en todo momento durante mis estudios.

### **Mis hermanas**

Susy Gutierrez y Nilda Zamora, por sus consejos, por sus regaños, por alimentarme, por haberme dado unos sobrinos hermosos y por siempre estar junto a mí.

### **Esaú Esteban**

Por tu apoyo en todos los aspectos de mi vida, por motivarme a siempre seguir adelante, por brindarme tus consejos y tus regaños que siempre son muy útiles.

### **Mis sobrinos**

Esaú, Ale, Emily y Melany, por ser esas personitas que siempre llenan de alegría mis fines de semana. Ojalá algún día lean mi tesis y vean que si los incluí, bueno al menos lean este pedazo.

### **Alejandro Peralta**

Por acompañarme durante toda mi etapa universitaria, aprecio y valoro mucho tu amistad, en serio. Gracias por ser mi amigo o por aguantarme, que sea básicamente lo mismo.

## **Mis amigos**

Adolfo, Josh, Gabo, Gejo y Ale otra vez, por todo, sí, todo; tendría que escribir un libro entero u otra tesis para narrar todo lo que hemos pasado juntos. Haberlos conocido y poder llamarlos amigos; ustedes saben que a veces soy un poco complicado, parlanchín, desesperante y cae mal pero de alguna u otra forma me soportan. Gracias por su amistad.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma mater y brindarme todos los recursos necesarios para formarme en el ámbito académico y profesional.

**Naturaceites**

Por abrirme sus puertas y permitirme realizar mi tesis en sus instalaciones.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Ubicación .....	2
1.1.3. Visión.....	3
1.1.4. Políticas .....	3
1.1.4.1. Política empresarial .....	3
1.1.4.2. Política de la calidad.....	3
1.1.4.3. Política ambiental .....	4
1.1.5. Compromiso social .....	4
1.2. Marco teórico.....	4
1.2.1. Aire comprimido.....	4
1.2.2. Propiedades del aire comprimido .....	5
1.2.3. Fundamentos físicos.....	6
1.2.4. Compresor.....	6
1.2.4.1. Compresores de flujo intermitente .....	7
1.2.4.1.1. Reciprocantes.....	7
1.2.4.1.2. Rotativos .....	7

1.2.4.2.	Compresores de flujo continuo.....	12
1.2.4.2.1.	Eyector.....	12
1.2.4.2.2.	Dinámicos .....	13
1.2.5.	Unidad de mantenimiento.....	15
1.2.5.1.	Condensador de humedad.....	15
1.2.5.2.	Filtro de aire .....	15
1.2.5.2.1.	Filtro mecánico.....	16
1.2.5.2.2.	Filtro de rejilla.....	16
1.2.5.2.3.	Filtro de borde .....	16
1.2.5.3.	Válvula reguladora de presión.....	16
1.2.5.3.1.	Válvula reguladora de diafragma .....	17
1.2.5.3.2.	Válvula reguladora de émbolo .....	17
1.2.5.4.	Manómetro .....	18
1.2.5.5.	Lubricador .....	19
1.2.6.	Tuberías de aire comprimido.....	19
1.2.6.1.	Accesorios en las tuberías de aire comprimido.....	20
1.2.6.1.1.	Niples y uniones.....	20
1.2.6.1.2.	Adaptadores.....	21
1.2.6.1.3.	Reducciones .....	22
1.2.6.1.4.	Codos.....	23
1.2.6.1.5.	Tees .....	24
1.2.6.1.6.	Acoples rápidos.....	25
1.2.6.2.	Distancia equivalente de accesorios ....	26
2.	SITUACIÓN ACTUAL .....	27
2.1.	Aire comprimido en una industria de grasas y aceites .....	27

2.1.1.	Utilización .....	27
2.1.2.	Máquinas y elementos .....	32
2.1.3.	Mantenimiento .....	36
2.1.4.	Cimentación.....	39
2.2.	Tipo de sistema de aire comprimido en las instalaciones.....	40
2.3.	Oportunidades de mejora identificadas en la red de aire comprimido .....	41
2.4.	Evaluación de riesgos.....	42
2.4.1.	Matriz de riesgos .....	42
2.5.	Señalización industrial .....	44
2.6.	Equipo de protección personal .....	44
2.7.	Pérdidas de presión.....	46
2.7.1.	Codos equivalentes .....	47
2.7.2.	Pérdidas por fricción .....	50
2.7.3.	Consumo de aire .....	51
2.7.4.	Presión de instalación.....	52
2.7.5.	Pérdida de presión admisible.....	52
2.7.6.	Presión demandada.....	53
2.7.7.	Longitud de tubería .....	53
2.7.8.	Red primaria .....	53
2.7.8.1.	Red secundaria.....	53
2.7.8.2.	Red de servicio .....	54
2.7.9.	Cálculo de pérdidas parciales de presión .....	54
2.7.9.1.	Red primaria .....	55
2.7.9.2.	Red secundaria.....	55
2.7.9.3.	Red de servicio .....	56
2.7.10.	Cálculo de pérdida total .....	56
2.7.11.	Porcentaje de pérdida.....	57

2.7.12.	Comparación entre pérdida admisible y pérdida de diseño.....	57
2.8.	Costos asociados a pérdidas de presión.....	57
2.9.	Normas que certifican la empresa.....	59
3.	PROPUESTA DE MEJORA .....	61
3.1.	Cálculo del diámetro óptimo propuesto para la instalación .....	61
3.1.1.	Caudal utilizado .....	61
3.1.2.	Caudal de diseño .....	62
3.1.3.	Presión máxima.....	62
3.1.4.	Longitud equivalente .....	63
3.1.4.1.	Red Primaria .....	64
3.1.4.2.	Red secundaria .....	64
3.1.4.3.	Red de servicio.....	65
3.1.5.	Pérdida de presión .....	65
3.1.5.1.	Red primaria.....	65
3.1.5.2.	Red secundaria .....	66
3.1.5.3.	Red de servicio.....	66
3.1.5.4.	Calculo de pérdida total.....	67
3.1.5.5.	Porcentaje de pérdida .....	67
3.1.5.6.	Comparación entre pérdida admisible y pérdida de diseño .....	67
3.2.	Costo anual de operación de la instalación de aire comprimido.....	68
3.3.	Estudio financiero.....	69
3.3.1.	Supuestos generales.....	69
3.3.2.	Inversión.....	70
3.3.3.	Depreciación .....	71
3.3.4.	Costos de operación 1 .....	71

3.3.5.	Costos de operación 2 .....	71
3.3.6.	Ventas .....	72
3.3.7.	ISR.....	72
3.3.8.	Flujo económico.....	72
3.3.9.	Evaluación .....	74
3.3.9.1.	Valor presente neto VPN .....	74
3.3.9.2.	Tasa interna de retorno TIR.....	75
3.3.9.3.	Valor anual uniforme equivalente VAUE.....	76
3.3.9.4.	Beneficio / costo .....	76
3.3.10.	Resumen de la evaluación de la propuesta .....	77
3.4.	Tratamiento sugerido del aire .....	77
3.4.1.	Tratamiento del aire en entrada al compresor .....	78
3.4.1.1.	Tipo de secado sugerido .....	78
3.4.2.	Tratamiento del aire en la salida del compresor .....	79
4.	IMPLEMENTACIÓN.....	81
4.1.	Importancia del mantenimiento del sistema de aire comprimido .....	81
4.1.1.	Mantenimiento de conservación .....	81
4.1.1.1.	Correctivo .....	81
4.1.1.2.	Preventivo.....	82
4.2.	Rutinas de mantenimiento .....	82
4.2.1.	Periodicidad .....	82
4.3.	Mantenimiento del compresor .....	82
4.3.1.	Tornillos .....	83
4.3.2.	Motor .....	83
4.3.3.	Tren de transmisión .....	83
4.3.4.	Lubricantes .....	84

4.3.5.	Filtros.....	84
4.4.	Mantenimiento de tuberías.....	84
4.4.1.	Detección de fugas.....	85
4.4.1.1.	Mantenimiento de acoples.....	85
4.4.1.2.	Mantenimiento de válvulas.....	85
4.5.	Mantenimiento de drenajes.....	86
4.6.	Importancia de la limpieza de aire comprimido.....	86
4.7.	Fichas técnicas.....	87
4.7.1.	Compresores.....	87
4.7.2.	Tubería.....	90
4.7.3.	Accesorios.....	91
4.8.	Formatos de registro de mantenimiento.....	93
4.8.1.	Hoja de registro.....	95
5.	SEGUIMIENTO.....	99
5.1.	Comparación de resultados.....	99
5.1.1.	Económico.....	99
5.1.2.	Operativo.....	99
5.2.	Supervisiones periódicas.....	100
5.3.	Análisis de lubricantes en compresores.....	100
5.4.	Calidad de aire comprimido.....	102
5.5.	Capacitación del personal responsable.....	103
5.5.1.	Precauciones antes de utilizar el sistema neumático.....	103
5.5.2.	Precauciones durante la utilización del sistema neumático.....	105
5.5.3.	Precauciones al finalizar la utilización del sistema de aire comprimido.....	105

CONCLUSIONES ..... 107  
RECOMENDACIONES ..... 109  
BIBLIOGRAFÍA ..... 111



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa de ubicación NaturAceites S.A. ....	2
2.	Compresor de paletas deslizantes .....	8
3.	Compresor de pistón líquido .....	9
4.	Compresor de lóbulos rectos .....	10
5.	Compresor de tornillo rotativo .....	11
6.	Eyector .....	12
7.	Compresor centrífugo.....	13
8.	Compresor de flujo axial.....	14
9.	Manómetro bourdon .....	18
10.	Niple y unión .....	21
11.	Adaptador.....	22
12.	Reducción .....	23
13.	Codos .....	24
14.	Tee .....	24
15.	Acoples .....	25
16.	Diagrama de operaciones del blanqueado de aceite .....	29
17.	<i>Doypack</i> .....	31
18.	Compresor Gardner Denver de 25 HP .....	32
19.	Compresor Kaeser de 30 HP .....	33
20.	Compresor Kaeser de 10 HP .....	34
21.	Filtro coalescente y sus partes.....	36
22.	Plan maestro de mantenimiento de compresores y tuberías .....	38
23.	Sistema abierto de aire comprimido .....	41

24.	Matriz de riesgos.....	43
25.	Jerarquía de controles de seguridad.....	45
26.	Ficha técnica compresor Gardner Denver 25 HP .....	87
27.	Ficha técnica compresor Kaeser 30 HP.....	88
28.	Ficha técnica compresor kaeser 10 HP .....	89
29.	Ficha técnica tubería acero galvanizado.....	90
30.	Ficha técnica secador Kaeser.....	91
31.	Ficha técnica filtros kaeser .....	92
32.	Hoja de registro de mantenimiento .....	95
33.	Formato de requerimiento de equipo .....	96
34.	Formato de bitácora de equipo .....	97

## TABLAS

I.	Estimación del riesgo.....	42
II.	Codos equivalentes de accesorios .....	48
III.	Accesorios del sistema .....	48
IV.	Longitud equivalente por accesorios.....	49
V.	Factores (F) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.....	50
VI.	Consumo de aire de equipos .....	51
VII.	Longitudes de las líneas de aire .....	51
VIII.	Consumo de aire de equipos .....	58
IX.	Accesorios del sistema .....	63
X.	Longitud equivalente por accesorios.....	64
XI.	Consumo de aire de equipos .....	68
XII.	Cotización de tubería HG de 1” .....	70
XIII.	Flujo económico.....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cc</b>	Centímetros cúbicos
<b>HP</b>	Caballo de fuerza
<b>°C</b>	Grados celcius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kWh</b>	Kilovatio-hora
<b>PSI</b>	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
<b>m</b>	Metro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>cfm</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>Q</b>	Quetzales
<b>W</b>	Vatio



## GLOSARIO

<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto, es una medida inglesa que mide el caudal o flujo de un gas o líquido; indica el volumen, en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada, en la unidad de tiempo.
<b>Presión atmosférica</b>	Es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre. La presión a nivel del mar equivale a 14,7 PSI. La presión en la ciudad de Guatemala equivale a 14,8 PSI.
<b>PSI</b>	Significa libra –fuerza por pulgada cuadrada, es una unidad de presión en el sistema anglosajón de unidades.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización, es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización.
<b>Blanqueado</b>	Es un proceso que se lleva a cabo en una refinería de aceite comestible justo antes de realizar su desodorización.

<b>HP</b>	Significa caballo de fuerza, es el nombre de varias unidades de medida de potencia utilizadas en el sistema anglosajón.
<b>Vatio</b>	Es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, un vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio.
<b>Vatio-hora</b>	Es una unidad de energía expresada en forma de unidades de potencia por tiempo, es decir la cantidad de energía es capaz de producir y sustentar una cierta potencia durante un determinado tiempo.

## RESUMEN

Al utilizar la energía del aire comprimido en los procesos de producción, es necesario asegurarse de que el aire comprimido trabaje en condiciones óptimas; es decir, que su desempeño sea competente y eficaz. Un sistema de aire comprimido en malas condiciones aumenta el gasto de energía, minimiza el rendimiento de la producción y provoca daños a la maquinaria al no suministrar el volumen suficiente, la presión o la calidad adecuada de aire.

Para que el aire comprimido sea distribuido y utilizado de manera eficiente es necesario realizar un monitoreo constantemente que determine las pérdidas y el costo que le representan a la empresa. Posteriormente, con base en los resultados obtenidos en el análisis, se determinan las acciones de mantenimiento para evitar deficiencias.

Al no realizar este diagnóstico, se pierde la posibilidad de conocer el estado en el que se encuentra la red de aire comprimido, por lo tanto, se desconoce la cantidad de pérdida de presión y se ignoran los costos innecesarios que provocan. Todo sistema, de generación y de distribución, se deteriora con el tiempo y al no brindarle el mantenimiento adecuado puede provocar fallas que esto a su vez la inutilización de toda la maquinaria y los procesos donde se utiliza el aire comprimido en una industria de grasas y aceites.



# OBJETIVOS

## General

Determinar las pérdidas de presión y los costos ocultos relacionados con el sistema de generación y distribución de aire comprimido en una empresa de grasas y aceites.

## Específicos

1. Definir las condiciones de operación actual del sistema de aire comprimido.
2. Determinar la pérdida de presión en el sistema de aire comprimido y si se encuentra dentro del rango de pérdida de presión admisible.
3. Fijar los costos a los que equivalen las pérdidas que presenta la red de aire comprimido.
4. Realizar una propuesta de mejora para reducir las pérdidas y los costos en el sistema de generación y distribución de aire comprimido.
5. Brindar un complemento al programa de mantenimiento de la red de aire comprimido actual en la empresa.



## INTRODUCCIÓN

La siguiente tesis tiene el objetivo de diagnosticar el sistema de generación y distribución de aire comprimido, mediante el cual se busca determinar si las pérdidas se encuentran dentro de los límites permisibles y el costo al que equivalen; posteriormente, con base en los resultados, realizar una propuesta de mejora susceptible de implementarse para reducir significativamente dichas pérdidas.

Actualmente, se cuenta con un sistema de aire comprimido mixto en las instalaciones de características diversas en determinados segmentos del proceso; este sistema no posee una uniformidad en cuanto a los diámetros en las tuberías, uno de los principales factores de pérdidas en el sistema. Según la situación actual, se determinan las pérdidas de presión y a cuánto equivalen monetariamente para la empresa y de esta manera realizar una propuesta de mejora y evaluar la inversión requerida en dicho proyecto.

La propuesta de mejora consiste en una estandarización de diámetros a lo largo de toda la red de aire comprimido para determinar el diámetro óptimo según factores como: caudal, presión, longitud, eficiencia, etc; de esta manera se asegura la inversión de recursos necesaria, con herramientas e indicadores financieros como VPN, VAUE y TIR, y con la eficiencia necesaria para cumplir la demanda de aire comprimido de los diferentes procesos propios de una industria de grasas y aceites.

Las pérdidas de presión son inevitables debido a la fricción que se presenta entre el aire y la tubería de distribución. Las fallas en un sistema de aire comprimido se atribuyen principalmente a su diseño y mantenimiento, por lo tanto, el plan de conservación desempeña un papel importante dentro de la propuesta de mejora y es necesario para asegurarse de que se cumpla el tiempo de vida esperado del proyecto para recuperar la inversión. En la implementación se detallan rutinas de mantenimiento de tuberías y maquinaria y su documentación en formatos de registro de mantenimiento.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Generalidades de la empresa**

A continuación, se presentan los datos generales de NaturAceites, S.A. empresa en donde se llevará a cabo el diagnóstico del sistema de generación y distribución de aire comprimido.

### **1.1.1. Historia**

"NaturAceites es fruto de la fusión de dos empresas: Grasas y Aceites, S.A., Industria de Desarrollo, S. A. (INDESA), y Palmas de Desarrollo, S. A. (PADESA). La primera, se fundó en 1985 con la visión de una familia que creyó en el potencial de la industria de aceite en el mercado guatemalteco; dio como resultado, en el primer semestre de 1986, el nacimiento de la primera planta de refinería de aceite vegetal en Escuintla, donde se procesaba aceite de girasol.

La segunda empresa, INDESA, inició por la visión de otra familia guatemalteca, que el 1 de junio de 1998 decide incursionar en la producción de aceites de palma y palmiste, con la primera siembra de cultivo de palma en la región del Polochic, en tierras que solamente conocían el ganado; de igual forma nació PADESA, debido al crecimiento en el cultivo de palma africana.

Es aquí cuando las 3 empresas ven la necesidad de generar una integración vertical en la línea de producción de aceite, con el fin de ser más competitivos en el mercado guatemalteco; NaturAceites.

El 2002 representó el primer año de producción para NaturAceites, una empresa dedicada al cultivo, producción, extracción, refinamiento y comercialización de aceite comestible, manteca y margarina a base de fruto de palma y otros aceites vegetales.

Actualmente NaturAceites opera en 3 áreas agrícolas, ubicadas en Fray Bartolomé de las Casas en Alta Verapaz, El Estor en Izabal y San Luis en Petén, dos plantas extractoras, una en Fray Bartolomé de las Casas y otra en El Estor y una planta refinadora en Escuintla, donde sale el producto terminado hacia sus distintos clientes.

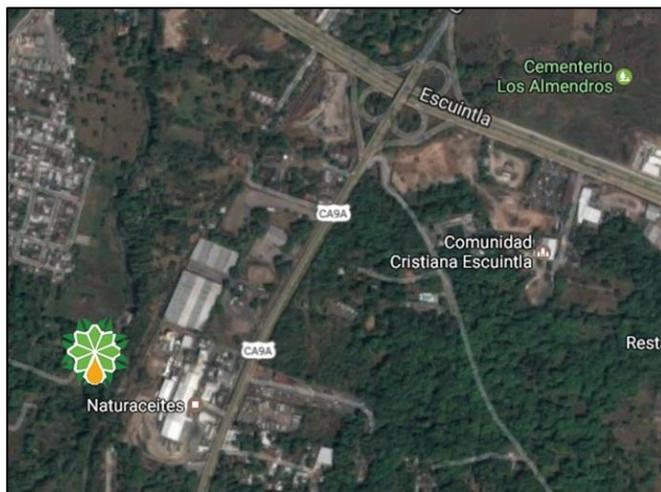
NaturAceites cuenta con cinco centros de distribución en el país y uno de El Salvador, trabaja bajo un modelo de negocios incluyente de arrendamiento, productores independientes y plantaciones propias.

Cuenta con presencia de sus productos en Guatemala, El Salvador, Honduras y Cuba; se encuentra, también, en proceso de expansión hacia el mercado mexicano y El Caribe; se consolida como una empresa sólida en el sector de la agroindustria de la palma aceitera, bajo sus marcas líderes Capullo, Cora y Great Taste".<sup>1</sup>

### 1.1.2. Ubicación

Actualmente, NaturAceites, S.A., se encuentra ubicada al sur de Guatemala en el departamento de Escuintla y aproximadamente a 5 kilómetros del parque central del municipio de Escuintla, en el kilómetro 60,5 antigua carretera al Puerto San José.

Figura 1. Mapa de ubicación NaturAceites S.A.



Fuente: Google. *Maps*. [www.google.com/maps/d/viewer?mid=z\\_pKAG2NOPpwkFaVKRaRYQ7w](http://www.google.com/maps/d/viewer?mid=z_pKAG2NOPpwkFaVKRaRYQ7w). Consulta: 27 de septiembre de 2015.

<sup>1</sup> NaturAceites, S.A. *Historia de la empresa*. [www.naturaceites.com/](http://www.naturaceites.com/). Consulta: 3 de marzo 2017.

### **1.1.3. Visión**

“Ser una empresa de la agroindustria de palma aceitera de crecimiento constante con un modelo de negocio íntegro, eficiente e innovador, creando beneficios evidentes para nuestros clientes, comunidades, productores asociados, colaboradores, inversionistas y el ambiente”.<sup>2</sup>

### **1.1.4. Políticas**

#### **1.1.4.1. Política empresarial**

“En NaturAceites procesamos con las normas sanitarias de calidad nacional e internacional todo el fruto de la palma aceitera, además de elaborar aceites y grasas comestibles. Nuestra materia prima proviene de áreas productivas internas y externas estrictamente controladas para garantizar la satisfacción de nuestros clientes.

Proveemos un ambiente de trabajo que tiene como prioridad la calidad de vida de nuestros trabajadores. Es por eso, que internamente se crea un ambiente de trabajo favorable, estimulante, seguro, no discriminatorio, en el que se prioriza la seguridad laboral, la integridad y el respeto.

Estamos comprometidos con el respeto al medio ambiente por lo que constantemente evaluamos nuestras áreas productivas, plantas, procesos y equipos de trabajo para trabajar por la mejora continua, optimizar nuestros recursos y evitar la contaminación.

En NaturAceites, la responsabilidad social es un marco de actuación importante, por lo que constantemente fomentamos el desarrollo de iniciativas que beneficien a nuestros colaboradores y sus familias, así como proyectos que promuevan el desarrollo humano sostenible en las comunidades guatemaltecas.”<sup>3</sup>

#### **1.1.4.2. Política de la calidad**

“NaturAceites, es una empresa comprometida, con altos estándares de calidad en la producción de aceites y grasas comestibles. Trabajamos para satisfacer de forma proactiva las necesidades de nuestros clientes y consumidores, a través del mejoramiento continuo de sistemas, procesos y recurso humano. Proveemos

---

<sup>2</sup> NaturAceites, S.A. *Historia de la empresa*. [www.naturaceites.com/](http://www.naturaceites.com/). Consulta: 3 de marzo 2017.

<sup>3</sup> *Ibíd.*

productos y servicios de clase mundial, cumpliendo normas nacionales e internacionales.”<sup>4</sup>

### **1.1.4.3. Política ambiental**

“En NaturAceites, estamos comprometidos con el respeto al medio ambiente por lo que constantemente evaluamos nuestras áreas productivas, plantas, procesos y equipos de trabajo para trabajar por la mejora continua, optimizar nuestros recursos y evitar la contaminación. Se propicia la conservación de los recursos naturales, realizando actividades de conservación de suelos, manejo integrado de cultivos y mantenimiento de las barreras viva, así como programas de capacitación al personal en general.”<sup>5</sup>

### **1.1.5. Compromiso social**

“En NaturAceites, la responsabilidad social y ambiental es la contribución activa al mejoramiento de la calidad de vida de nuestros colaboradores, sus familias y la comunidad donde viven. Evidenciamos nuestro compromiso con proyectos en educación, salud, medio ambiente, infraestructura, cultura y deportes, involucrando directa e indirectamente a todos los colaboradores de la empresa.”<sup>6</sup>

## **1.2. Marco teórico**

A continuación, se definen los conceptos teóricos en los que se fundamenta el trabajo de graduación y que se utilizarán constantemente, de tal forma que se puedan relacionar fácilmente con la situación actual de la empresa, la propuesta de mejora y la implementación.

### **1.2.1. Aire comprimido**

Es aire que se toma del ambiente para aumentar su presión mediante una máquina llamada compresor para transportarlo mediante una red de distribución al punto de consumo en una planta industrial.

---

<sup>4</sup> NaturAceites, S.A. *Historia de la empresa*. [www.naturaceites.com/](http://www.naturaceites.com/). Consulta: 3 de marzo 2017.

<sup>5</sup> *Ibíd.*

<sup>6</sup> *Ibíd.*

Mediante el aire comprimido se pueden almacenar grandes cantidades de energía de forma segura y efectiva, por lo tanto, se considera un medio energético ventajoso. Características como su limpieza e inocuidad, fácil almacenamiento y transporte lo hacen útil para una gran variedad de aplicaciones industriales: la propulsión de herramientas neumáticas para crear movimientos y elevaciones, o para limpiar, desplazar y enfriar materiales.

### **1.2.2. Propiedades del aire comprimido**

- Abundancia: prácticamente está disponible para ser comprimido en cantidades ilimitadas en cualquier parte del mundo.
- Almacenaje: se puede almacenar en depósitos y puede ser transportado en recipientes.
- Transporte: puede transportarse fácilmente a grandes distancias mediante tuberías.
- Incombustible: a diferencia de otros gases, el aire comprimido no tiene riesgo de incendio; por lo tanto no es necesario instalar medidas de seguridad contra incendio.
- Velocidad: el aire comprimido alcanza velocidades muy altas de trabajo.
- Temperatura: posee insensibilidad a los cambios de temperatura.

### 1.2.3. Fundamentos físicos

El aire es una mezcla de gases homogénea que conforma la atmósfera terrestre y es indispensable para la vida. Principalmente está compuesto por nitrógeno y oxígeno en un porcentaje de volumen del 78 % y 21 % respectivamente; el 1 % restante corresponde a una mezcla de otras sustancias como dióxido de carbono.

Como es característico en los gases, el aire no tiene una forma determinada y adopta la forma de los recipientes que lo contienen o la del ambiente. Se puede comprimir y tiene la tendencia a expandirse. Estos fenómenos se justifican mediante la ley de Boyle que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a temperatura constante.

Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Donde:

$P_1$  = presión inicial

$P_2$  = presión final

$V_1$  = volumen inicial

$V_2$  = volumen final

### 1.2.4. Compresor

La compresión del aire se realiza generalmente mediante máquinas llamadas compresores. Su función principal es aumentar la presión en un fluido

o gas y desplazarlo para su uso inmediato en elementos neumáticos o para su almacenaje en tanques. Esto mediante la conversión de la energía mecánica en energía de flujo que aumenta la presión y energía cinética del fluido, impulsándolo a fluir. Por su tipo de flujo se clasifican en intermitentes y continuos.

#### **1.2.4.1. Compresores de flujo intermitente**

También son conocidos como compresores de desplazamiento positivo. Son máquinas cuya principal característica de operación consiste en atrapar cantidades consecutivas de aire u otro gas en cámaras que reducen el volumen y por consecuencia aumentan la presión. Los compresores de flujo intermitente a su vez se dividen en reciprocantes y rotativos.

##### **1.2.4.1.1. Reciprocantes**

Están compuestos básicamente por un émbolo que se desplaza con movimiento recíproco en dirección axial, dentro de un cilindro o varios para comprimir el gas y desplazarlo hasta el punto de uso o almacenaje. Este tipo de compresores son los más utilizados en equipos de refrigeración aunque también se utilizan rotativos y centrífugos.

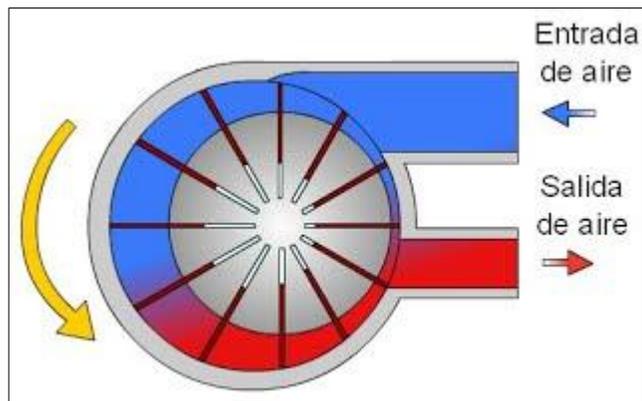
##### **1.2.4.1.2. Rotativos**

Son máquinas en las que la compresión y el desplazamiento son realizados por el movimiento de diversos elementos que están en rotación. La rotación reduce el volumen de la célula y aumenta la presión del aire. Se clasifican mediante su componente principal rotativo.

- Paletas deslizantes

Es una máquina rotativa compuesta de una carcasa cilíndrica y un rotor excéntrico que hace deslizarse a las paletas radialmente lo que permite que el gas fluya hacia la cámara interior para ser comprimido y desplazado. Durante la rotación, la fuerza centrífuga extrae las paletas de las ranuras para formar células individuales de compresión. El calor que genera la compresión se controla mediante la inyección de aceite a presión. Fue inventado por Charles C. Barnes quien lo patentó el 16 de junio de 1874.

Figura 2. **Compresor de paletas deslizantes**



Fuente: ORT Argentina. *Compresores*.

<https://sites.google.com/site/642primertrabajo/compresores> Consulta: 17 de octubre de 2015.

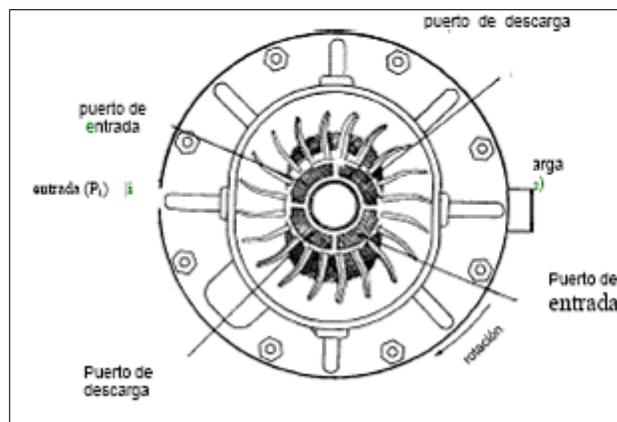
- Pistón líquido

También, es conocido como de anillo líquido, utiliza un rotor con paletas curvadas que actúan sobre un anillo de fluido atrapado en el interior de una carcasa generalmente de forma elíptica. Su principio de operación es similar al del compresor de paletas deslizantes, con la diferencia de que las paredes de

líquido son las que están en movimiento. El líquido de servicio, generalmente agua, casi llena el compresor de anillo líquido, que produce simultáneamente un proceso de aspiración y compresión durante cada revolución y establece la acción de un pistón sobre el aire atrapado en las cámaras que comprime y desplaza el aire.

Los materiales con los que generalmente se fabrican los compresores de anillo líquido son la fundición gris o laminar (componentes estáticos) y fundición nodular (componentes dinámicos). También, se pueden utilizar otros materiales como la fundición de inoxidable o la combinación de ambos tipos de fundición.

Figura 3. **Compresor de pistón líquido**



Fuente: Normas de construcción de la administración pública del distrito federal. *Calidad de equipos y sistemas, mecánicos*. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/3633.htm>.

Consulta: 17 de octubre de 2015.

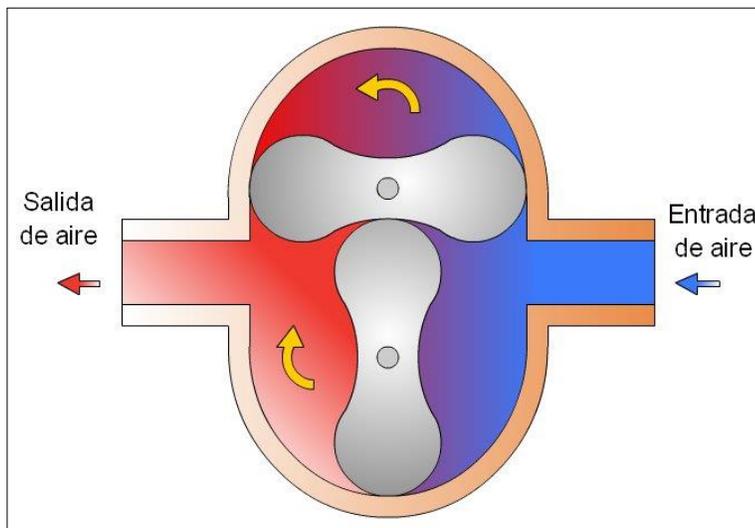
- Lóbulo recto

También, llamado de doble impulsor y de émbolos rotativos, consta de una carcasa que contiene dos rotores idénticos simétricos cuya sección transversal

tiene forma de ocho. Los rotores empleados pueden ser bilobulares o trilobulares. También, existe una ejecución similar que utiliza unos rotores de uña. Estos están encajados en fase y rotan en sentidos opuestos. Los rotores atrapan el gas y lo trasladan desde la admisión hasta la descarga.

El aumento de presión no se debe a la reducción de volumen para una cantidad fija de gas, sino al aumento en el número de moléculas de gas presentes en un volumen fijo. Este proceso es llamado contraflujo.

Figura 4. **Compresor de lóbulos rectos**



Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Compresores de lóbulos o tipo roots*.

<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2014/03/03/compresores-de-lobulos-o-tipo-roots/>

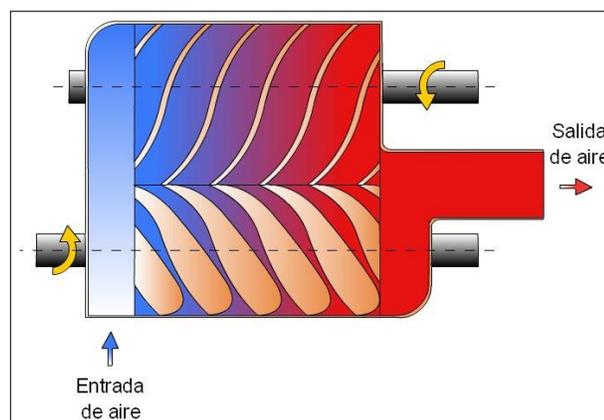
Consulta: 17 de octubre de 2015.

- Tornillo rotativo

También llamado de lóbulos helicoidales, es una máquina que posee dos rotores helicoidales que comprimen el gas en las cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos encajados y la carcasa. El rotor macho o guía tiene una forma que coincide en la cavidad del rotor hembra o guiado. Estas unidades tienen compresión interna. La relación de compresión está determinada por la localización de los bordes de las entrantes, la abertura de descarga y el ángulo de enrollamiento de los lóbulos. Usualmente, el rotor principal tiene menos lóbulos que el guiado y, por lo tanto, opera a mayor velocidad.

Son impulsados por un motor de combustión interna que utiliza gasolina o diésel. Pueden ser encontrados en unidad portátil o fija y son los más demandados por el mercado debido a su adaptabilidad sencilla y múltiple uso, además de ser más eficaces y económicos que los sistemas hidráulicos.

Figura 5. **Compresor de tornillo rotativo**



Fuente: SCCRIBD. *Neumática e hidráulica*.

[http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html) Consulta: 17 de octubre de 2015.

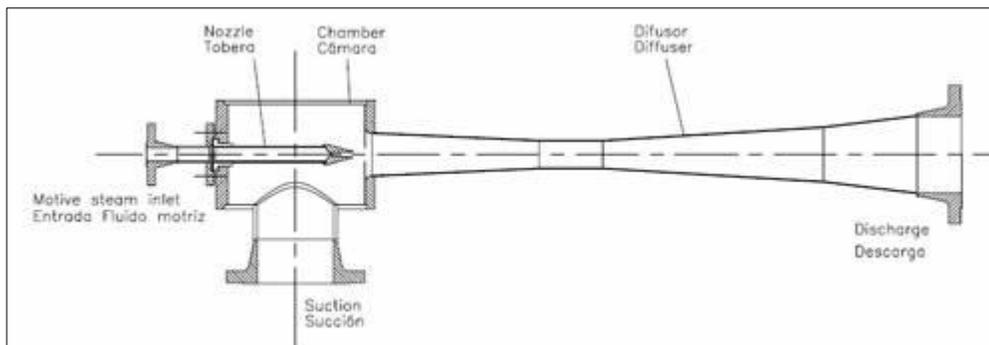
### 1.2.4.2. Compresores de flujo continuo

También son conocidos como compresores de desplazamiento no positivo. Son máquinas cuya principal característica de operación consiste en comprimir el gas por la acción mecánica de un impulsor o un motor. Estos a su vez se clasifican en dinámicos y eyectores.

#### 1.2.4.2.1. Eyector

Un eyector está constituido por una boquilla que descarga un chorro de vapor o gas a una presión relativamente alta y a gran velocidad a través de una cámara de succión en un difusor con forma de venturi. El gas cuya presión se va a incrementar, es arrastrado por el chorro en la cámara de succión. La mezcla en este punto tiene alta velocidad y está a la presión del gas inducido. La compresión tiene lugar a medida que la energía de velocidad se transforma en presión dentro del difusor ubicado al final del eyector.

Figura 6. Eyector



Fuente: Inmateinsa. *Eyector: principio de funcionamiento.*

[http://www.inmateinsa.com/sistemas\\_vacio.html](http://www.inmateinsa.com/sistemas_vacio.html) Consulta: 17 de octubre de 2015.

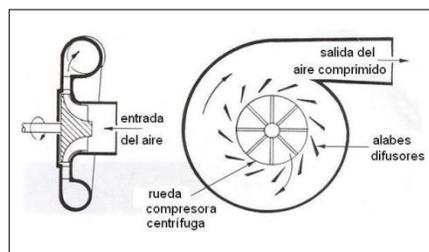
#### 1.2.4.2.2. Dinámicos

En un compresor dinámico el aumento de presión es consecuencia de la transferencia de energía entre un juego de aspas giratorias y el gas. El rotor realiza esta transferencia de energía induciendo cambios en el momentum del gas. El movimiento del fluido, relacionado con la energía cinética, es convertido en energía de presión mediante su desaceleración en un difusor estacionario o en otro juego de aspas corriente abajo. Existen tres tipos de compresores dinámicos que se clasifican con base en el tipo de flujo que presentan.

- Centrífugo

También llamados compresores radiales, son máquinas muy sencillas y son consideradas de las más simples del mercado. Su diseño, basado en pocas partes en movimiento asegura una operación confiable y una larga vida útil. El flujo de un compresor centrífugo es radial. Un compresor dinámico aumenta la presión del gas transmitiendo velocidad con el rotor. Esta energía cinética se transforma en un incremento de presión estática cuando el fluido pasa por un difusor.

Figura 7. **Compresor centrífugo**



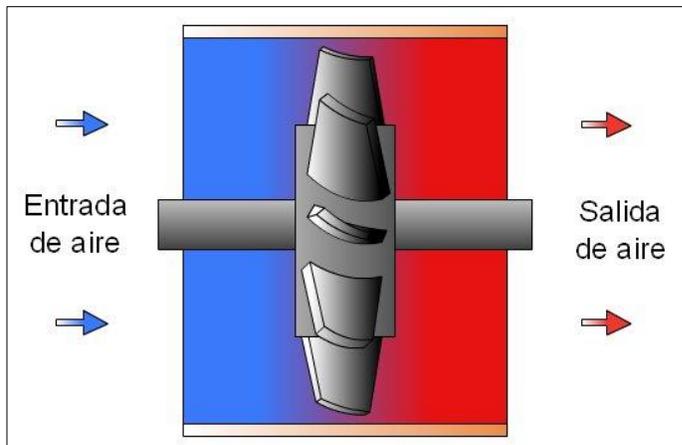
Fuente: Full Mecánica. *Compresor centrífugo*. <http://www.fullmecanica.com/definiciones/c/985-compresor-centrifugo>. Consulta: 18 de octubre de 2015.

- Flujo axial

Su principio de funcionamiento es el mismo que en un compresor centrífugo. Las aspas del rotor a medida que giran imparten velocidad y presión al gas. La velocidad se convierte en presión en las aspas estacionarias. El flujo es axial y no hay una acción apreciable de vórtices. Este proceso se repite en cada escalón. En algunos compresores se colocan en el cárter de entrada unos álabes guía, los cuales no forman parte del compresor, pues solo orientan la corriente para que entre con el ángulo adecuado.

Los compresores axiales están formados por varios rotores y estatores que llevan acoplados una serie de álabes. Entre rotor y rotor se coloca un espaciador, el cual permite que se introduzca un estator entre ambos.

Figura 8. **Compresor de flujo axial**



Fuente: SCCRIBD. *Neumática e hidráulica*. [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html) Consulta: 17 de octubre de 2015.

- Flujo mixto

El compresor dinámico de flujo mixto es una mezcla entre el compresor centrífugo y el de flujo axial ya que combina sus características de diseño. Este compresor es ideal para aplicaciones de baja presión.

### **1.2.5. Unidad de mantenimiento**

Es una combinación de elementos de filtración, regulación y lubricación, cuya función principal, es preparar el aire para su utilización y mantener los accesorios de la tubería en buen estado.

#### **1.2.5.1. Condensador de humedad**

Son depósitos que permiten la condensación de la humedad y de partículas de aceite que están presentes en el aire comprimido. Poseen una válvula que evacúa el drenado de una forma automática o manual. Cuando el drenador es de tipo automático se debe observar su correcto funcionamiento diariamente y si es manual se debe abrir diariamente o las veces que sea necesario.

#### **1.2.5.2. Filtro de aire**

Es un dispositivo utilizado para eliminar las impurezas del aire como polvo, solidos abrasivos, aceite, condensados y otras partículas extrañas. Este filtro, permite llevar aire limpio al regulador, lubricador y posteriormente al equipo neumático en el que se pretende utilizar. Filtro de rejilla, filtro mecánico y filtro de borde son los más utilizados en los sistemas de aire comprimido.

#### **1.2.5.2.1. Filtro mecánico**

Se caracteriza por conducir el aire comprimido a realizar un movimiento giratorio a cuatro rotores, las impurezas y toda partícula extraña que se encuentran en el aire se despiden a las paredes del filtro por efecto de la fuerza centrífuga y luego hasta el fondo del aparato en donde se acumulan en un depósito para luego retirarse.

#### **1.2.5.2.2. Filtro de rejilla**

En este tipo de filtro, el aire es forzado a pasar por tamices de diferentes calibres, a su paso las partículas extrañas se adhieren a las rejillas, filtrando así el aire. Es de fabricación simple y robusta, los tamices pueden ser en forma plana o cilíndrica. Las impurezas son retiradas mediante la limpieza de las rejillas o el cambio de éstas.

#### **1.2.5.2.3. Filtro de borde**

Posee en su interior, un elemento filtrante que puede ser fabricado con: una resina fenólica impregnada de celulosa fundida y polimerizada para asegurar su cohesión e impermeabilización completa ante líquidos y gases, por metal sintetizado, por una piedra porosa o por otros materiales porosos.

#### **1.2.5.3. Válvula reguladora de presión**

Su función es suministrar una presión adecuada para el funcionamiento del equipo neumático y protegerlo de los aumentos o disminuciones de la presión de trabajo que pueden ocurrir que evita que funcionen defectuosamente, que se dañen o que se disminuya la eficiencia en la

producción. Generalmente, las válvulas reguladoras de presión van montadas en los ramales de distribución o lo más cerca posible del punto de uso para evitar pérdidas que puedan afectar al rendimiento de las herramientas, pueden ser de varios tipos.

#### **1.2.5.3.1. Válvula reguladora de diafragma**

Está constituida internamente por un diafragma de caucho sintético resistente a los lubricantes y reforzado con nylon. Actúa automáticamente para mantener una descarga relativamente constante. Si la presión del aire aumenta momentáneamente, el diafragma hace que la válvula se desplace hacia arriba para cerrarse y con ello se reduce o regula la presión. Una vez regulada a la presión deseada, por medio del tornillo de ajuste, se inmoviliza por medio de una tuerca de seguridad que impide así la variación del ajuste deseado.

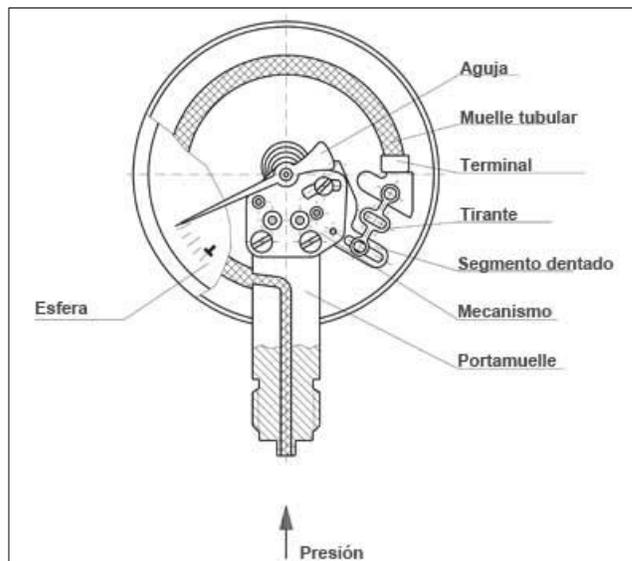
#### **1.2.5.3.2. Válvula reguladora de émbolo**

Este tipo de válvula posee un émbolo conformado por un empaque de copa de caucho sintético que se apoya en un disco metálico de refuerzo. El aire penetra en la cámara que se encuentra en contacto con el lado inferior del empaque de copa del émbolo, circula entre la parte superior de la junta sintética y el asiento de la válvula y se descarga por el portillo de escape. Si la presión en el lado de admisión aumenta momentáneamente, tendería a impulsar el émbolo hacia arriba, con lo que la junta se acercaría al asiento y se ejercería una acción de estrangulamiento mayor para regular la presión del lado de descarga.

#### 1.2.5.4. Manómetro

Es un instrumento que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Muchos de los aparatos empleados para la medida de presiones utilizan la presión atmosférica como nivel de referencia y miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica. El más común es el manómetro de bourdon, consistente en un tubo metálico, aplanado, hermético, cerrado por un extremo y enrollado en espiral.

Figura 9. Manómetro bourdon



Fuente: WIKA. *Construcción y funcionamiento de manómetros mecánicos*.  
<http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2015/02/03/construccin-funcionamiento-de-manmetros-mecnicos/>. Consulta: 18 de octubre de 2015.

#### **1.2.5.5. Lubricador**

La lubricación desempeña un papel muy importante en un sistema neumático, debido a que reduce la fricción y el desgaste de las válvulas, empaques, cilindros y demás elementos de trabajo; que prolonga así su eficiencia y su vida útil.

El lubricador y el lubricante deben ajustarse a las necesidades y requerimientos de la maquinaria neumática, ya que un exceso de lubricación aumentaría la fricción, la acumulación interna de aceite y hasta el atascamiento de válvulas y otros elementos. Por el contrario, si fuera insuficiente, provocaría un desgaste prematuro y una baja eficiencia en el funcionamiento del sistema de aire comprimido.

Los lubricantes más utilizados son derivados del petróleo, aunque últimamente se está incrementando el uso de lubricantes sintéticos. Antes de su utilización se deben tener en cuenta las especificaciones del fabricante de la maquinaria neumática, en cuanto a su viscosidad, cantidad y naturaleza; debido a que no todo el equipo neumático posee una igualdad en sus características internas y de funcionamiento.

#### **1.2.6. Tuberías de aire comprimido**

Son conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares donde se encuentra el equipo neumático a utilizar. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles.

- Rígidas: son aquellas que no poseen movimientos relativos, son usadas en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.
- Semirrígidas: poseen cierta capacidad de deformación la cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el PVC y el polietileno. Pueden conducir aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo.
- Flexibles: conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicación debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación.

#### **1.2.6.1. Accesorios en las tuberías de aire comprimido**

En toda instalación de un sistema de distribución de aire comprimido, es indispensable la utilización de accesorios; se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas. Entre los accesorios más utilizados se pueden mencionar:

##### **1.2.6.1.1. Niples y uniones**

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra, mientras el niple tiene rosca doble macho.

Figura 10. **Niple y unión**



Fuente: Talaser. *Ferretería industrial*. [http://ferreteria-t.com/index.php?route=product/product&product\\_id=4721](http://ferreteria-t.com/index.php?route=product/product&product_id=4721). Consulta: 18 de octubre de 2015.

#### **1.2.6.1.2. Adaptadores**

Elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.

Figura 11. **Adaptador**



Fuente: Schouten select. *Cameras y accesorios.*

[http://i01.i.aliimg.com/photo/v2/800005527/110MM\\_X\\_4\\_PVC\\_FEMALE\\_THREAD\\_ADAPTOR.j](http://i01.i.aliimg.com/photo/v2/800005527/110MM_X_4_PVC_FEMALE_THREAD_ADAPTOR.j)

pg. Consulta: 18 de octubre de 2015.

### **1.2.6.1.3. Reducciones**

Elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros; sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo; pueden presentarse en forma de conos y se fabrican en una amplia gama de materiales que van desde cobre, acero al carbono, acero inoxidable, hasta el plástico, de manera que cumpla con los estándares de la industria de tuberías y cañerías. Hay dos tipos de reductores: reductores concéntricos y reductores excéntricos.

Figura 12. **Reducción**



Fuente: Amanco. *Innovación en tuberías*. [http://mlm-s1-p.mlstatic.com/reduccion-25-mm-a-20-mm-hidraulica-tuboplus-lote-25-pzs-2017-MLM4774508761\\_082013-O.jpg](http://mlm-s1-p.mlstatic.com/reduccion-25-mm-a-20-mm-hidraulica-tuboplus-lote-25-pzs-2017-MLM4774508761_082013-O.jpg). Consulta: 18 de octubre de 2015.

#### **1.2.6.1.4. Codos**

Acoplamiento rígidos que cambian la dirección del flujo a 30, 45, 60 o 90 grados; son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos y codos desiguales cuando existe una variación de diámetros en sus extremos.

Figura 13. **Codos**



Fuente: Jaraba. *Acero inoxidable*. [http://jaraba.com.do/wp-content/uploads/2013/12/CODO-ORN-AJUSTABLE-INTEROR-90-PARA-TUBO-A\\_I\\_1.jpg](http://jaraba.com.do/wp-content/uploads/2013/12/CODO-ORN-AJUSTABLE-INTEROR-90-PARA-TUBO-A_I_1.jpg) Consulta: 28 de diciembre de 2015.

#### 1.2.6.1.5. **Tees**

Elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías. El diámetro de estas tuberías puede ser igual o desigual según las características de la tee.

Figura 14. **Tee**



Fuente: Prisma Hidráulica. *Calentadores Titán*. <http://www.forosdeelectronica.com/f23/calentador-combustible-107581/>. Consulta: 18 de octubre de 2015.

#### 1.2.6.1.6. Acoples rápidos

Son dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red. Son utilizados cuando se tiene la necesidad de estar acoplando o desacoplando diferentes máquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión.

Los acoples rápidos cuentan internamente con un dispositivo el cual cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo impidiendo así, cualquier escape innecesario de aire.

Figura 15. Acoples



Fuente: Mangueras Acoples Ferretería. *Lista de producto*. [http://www.maxifersas.com/linea\\_acoples.html](http://www.maxifersas.com/linea_acoples.html). Consulta: 18 de octubre de 2015.

### **1.2.6.2. Distancia equivalente de accesorios**

La resistencia al flujo de aire comprimido a través de un conducto incrementa, debido a la presencia de accesorios y por lo tanto la capacidad de conducción se ve reducida. Para poder expresar dichas resistencias se ha optado hacerlo en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería y la suma es llamada longitud equivalente de la tubería. La resistencia que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro.

Para determinar la longitud de la tubería debida a la existencia de accesorios se pueden utilizar dos métodos:

- Se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto, estas son variables según sea el diámetro de los accesorios.
- Se relacionan los accesorios con la resistencia que ocasionaría un codo de 90 grados; hallando así un número determinado de codos equivalentes y estos a su vez se convierten en una longitud de tubería recta.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Aire comprimido en una industria de grasas y aceites**

La utilización de aire comprimido son indispensables procesos para la obtención de los productos que se fabrican en una industria de grasas y aceites; así mismo, permite optimizar procesos ya establecidos mediante la automatización neumática como llenado, envasado, embotellado, empaçado, sellado y transporte que permiten el ahorro de energía y tiempo.

#### **2.1.1. Utilización**

En Naturaceites, el aire comprimido se usa en diferentes procesos pertenecientes al área de producción y al área de mantenimiento, siendo estos los siguientes:

- Instrumentación industrial

se le llama así al grupo de elementos que se utilizan para medir, controlar, transmitir, registrar o monitorear las variables que se tienen en un proceso de producción industrial con el objetivo de optimizar los recursos que éste utiliza.

Un sistema de instrumentación, es una estructura compleja que agrupa un conjunto de instrumentos, un dispositivo o sistema en el que se mide, unas conexiones entre estos elementos y por último, y, no menos importante, unos programas que se encargan de automatizar el proceso y de garantizar la repetibilidad de las medidas.

En Naturaceites se utiliza la instrumentación industrial en los procesos de refinado, blanqueado y deodorizado, abreviado comúnmente en la industria de grasas y aceites como RBD. Válvulas y actuadores son algunos de los equipos de control accionados mediante el aire comprimido que se usan como parte de dicha instrumentación.

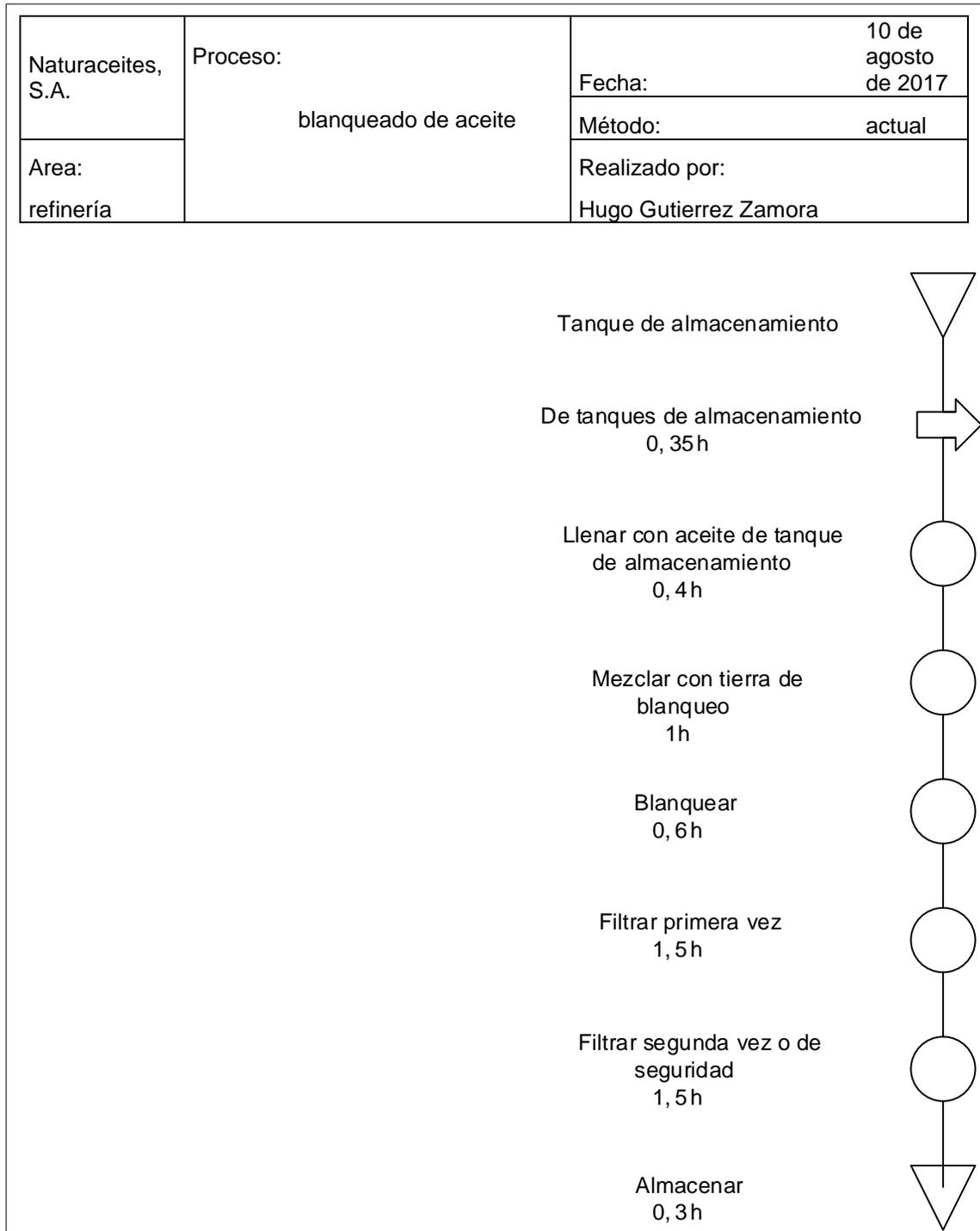
- Blanqueado de aceite

Este proceso pertenece al área de producción y su objetivo principal es eliminar impurezas y metales pesados presentes en el aceite como arsénico, plomo, hierro, etc. También, se utiliza para quitar los carotenos que son los responsables del color natural del aceite.

En el aceite se presentan naturalmente tres tonalidades: correspondientes a los colores primarios amarillo, rojo y azul. El color azul es indicador de presencia de metales o humedad en el aceite por lo que es eliminado mediante el proceso de blanqueado.

El proceso inicia con lotes de 3,5 toneladas a las cuales se les agrega tierra activada a una presión reducida de 30 pulgadas de mercurio y a una temperatura de 120 °C a 140 °C, con el fin de evitar la oxidación del aceite durante el proceso. La tierra activada, también conocida como tierra de blanqueo, tiene un tiempo de contacto con el aceite de 35 minutos dentro de un tanque de blanqueo. Terminado el tiempo de contacto comienza la recirculación o filtración del aceite se realiza a través de un filtro de placas cuya función es separar la mezcla mediante la retención de la tierra activada. Al concluir la filtración total de la mezcla, se obtiene una merma de aceite que se reduce al máximo mediante el soplado del filtro de placas con aire comprimido a 80 libras por pulgada cuadrada intermitentes con intervalos de un minuto.

Figura 16. Diagrama de operaciones del blanqueado de aceite



Continuación de la figura 16.

Operaciones	Símbolo	Tiempo (h)	Cantidad
Almacenamiento		0,3	2
Transporte		0,35	1
Operación		5	5
Total		<b>5,65</b>	<b>8</b>

Fuente: elaboración propia.

- Llenado de PET y polietileno

El PET es un material particularmente resistente a la biodegradación debido a su alta cristalinidad y a la naturaleza aromática de sus moléculas, por lo cual se le considera no biodegradable. Puede ser degradado mediante un proceso químico por el cual se modifica su estructura molecular para reutilizar el material para un nuevo producto u obtención de combustibles.

Estos procesos pertenecen al área de envasado donde el aire se utiliza para sacar cualquier impureza dentro de los recipientes donde será envasado el aceite. En estas líneas de llenado, el aire comprimido que se utiliza tiene la característica de tener un mayor grado de filtración debido a los estándares de calidad con los que debe cumplir el proceso.

- Taponadora

Aquí se utiliza para garantizar que las tapas que son colocadas a los envases de PET y polietileno estén colocadas de manera correcta mediante la

aplicación de aire comprimido a la altura de las tapas provocando la expulsión inmediata de cualquier tapa que llegue volteada o con desperfectos.

- Empaque flexible

Se utiliza para llenar la bolsa plástica tipo *doypack*. Este empaque consiste en una bolsa de plástico sellada que está diseñada para permanecer erguida. Se utilizan comúnmente para polvos o bebidas listas para beber. Pueden ser llenados asépticamente en líneas de envasado normales.

Figura 17. ***Doypack***



Fuente: Vector. *Bolsa de espuma de vectores*. [http://4vector.com/i/free-vector-blank-bag-foil-spout-pouch\\_133724\\_Blank\\_bag\\_foil\\_spout\\_pouch.jpg](http://4vector.com/i/free-vector-blank-bag-foil-spout-pouch_133724_Blank_bag_foil_spout_pouch.jpg). Consulta: 2 de agosto de 2016.

- Atomización de combustible

Este proceso pertenece al área de calderas y se realiza previo a la combustión de un combustible líquido, consiste en pulverizar el combustible en partículas del diámetro más pequeño posible previo a la combustión.

### 2.1.2. Máquinas y elementos

- Compresor Gardner Denver 25 HP

Se utilizan dos compresores marca Gardner Denver con una potencia de 25 HP de flujo intermitente clasificados como rotativos ya que son compresores de tornillo. Generalmente, trabajan a 110 pies cúbicos por minuto y a una presión de 120 libras por pulgada cuadrada.

Figura 18. **Compresor Gardner Denver de 25 HP**



Fuente: Vac-Air. *Superstore*. [http://www.machineryassociates.com/machine-photos/Gardner-Denver-EBERFH-Machinery-Associates-HB7ysxm3\\_800.jpg](http://www.machineryassociates.com/machine-photos/Gardner-Denver-EBERFH-Machinery-Associates-HB7ysxm3_800.jpg). Consulta: 2 de agosto de 2016.

- Compresor Kaeser de 30 HP

Se utilizan dos compresores marca Kaeser con una potencia de 30 HP de flujo intermitente clasificados como rotativos ya que son compresores de tornillo. Generalmente, trabajan a 130 pies cúbicos por minuto y a una presión de 120 libras por pulgada cuadrada.

Figura 19. **Compresor Kaeser de 30 HP**



Fuente: Google. *Cloud Platform*. <https://cdn.globalauctionplatform.com/9195b42c-fc51-41ac-a33a-a5db015458af/86a6cc88-0cee-42af-be95-a5e901558346/original.jpg>. Consulta: 2 de agosto de 2016.

- Compresor Kaeser de 10 HP

Se utiliza un compresor marca Kaeser con una potencia de 10 HP de flujo intermitente clasificado como rotativo ya que es de tornillo. Generalmente, trabaja a 40 pies cúbicos por minuto y a una presión de 120 libras por pulgada

Figura 20. **Compresor Kaeser de 10 HP**



Fuente: FP Miller. *Reparación y reconstrucción*. [http://fpmiller.com/portals/0/images/inventory/c-1746\\_6170.jpg](http://fpmiller.com/portals/0/images/inventory/c-1746_6170.jpg). Consulta: 2 de agosto de 2016.

- Secador Kaeser: se utilizan dos secadores de aire marca Kaeser que trabajan a una temperatura de 170 °C.

- Condensador de humedad: se tiene un condensador de humedad, también conocido como tanque húmedo, con una capacidad de 1 200 litros.
- Filtro Coalescente: un coalescedor, es un contenedor que acelera la unión o la cohesión de dos o más partículas dispersas para formar partículas más grandes. Los coalescedores más comunes pasan las fases a través de algún tipo de cama sólida, red o manta de fibra, cedazos metálicos o membranas. Estos equipos ofrecen una gran superficie de interfase, que permiten un tiempo de residencia necesario para que se produzcan los fenómenos de coalescencia y de separación para una variada gama de aplicaciones.

Estos filtros son muy utilizados en la industria de grasas y aceites, ya que la coalescencia mediante un flujo de agua que viaja a través de las fibras coalescedoras se lleva consigo los aceites en forma de pequeñas gotas hasta que estas quedan interceptadas en la fibra. En este punto el aceite desplaza al agua y la gota se rompe. A medida que las gotas de aceite se acumulan en la fibra, se juntan y crecen en tamaño, la gravedad les obliga a separarse de la fibra y flotar hacia arriba, dando como resultado un agua libre de aceites.

Figura 21. **Filtro coalescente y sus partes**



Fuente: Veco. *Filtros*. <http://www.aignep.com/es/Productos/FRL/Serie-FRL/FILTRO-COALESCENTE/Serie-FRL-articulo-T015-Filtro-coalescente>. Consulta: 2 de agosto de 2016.

### 2.1.3. **Mantenimiento**

Naturaceites cuenta con un departamento de mantenimiento encargado de brindar servicios de mantenimiento preventivo como correctivo a la maquinaria y equipo que conforma los diferentes procesos de producción dentro de la empresa. Dentro de sus funciones principales se encuentra la realización del programa anual de mantenimiento preventivo y correctivo, así como de la contratación de servicios de *outsourcing* para realizar mantenimientos que requieran de mano de obra especializada o específica para determinada maquinaria y equipo.

Actualmente, en Naturaceites se cuenta con un plan maestro de mantenimiento anual que incluye todos los elementos del sistema de

generación y de distribución del aire comprimido; comprende periodos semanales, bimensuales, mensuales, trimestrales, cuatrimestrales, semestrales y anuales.

En los elementos de la marca Kaeser, tres compresores y dos secadores, se realiza el mantenimiento con una periodicidad anual mediante *outsourcing* ya que es personal técnico capacitado específicamente en equipo de la marca. Las actividades de mantenimiento que se realizan en los compresores son: limpieza general, lubricación, mantenimiento completo y alineación; esta última refiriéndose no específicamente a una alineación, también, a ajuste de piezas que pueden estar en malas condiciones o flojas como tornillos y bridas.

En el resto de equipos, el mantenimiento es realizado por el personal del departamento de mantenimiento de Naturaceites y se realiza con una periodicidad semestral que incluye los mismos servicios si es comparado con el *outsourcing*.



#### **2.1.4. Cimentación**

Actualmente, Naturaceites no cuenta con cimentación en ninguno de sus compresores ni en ningún otro equipo perteneciente al sistema de aire comprimido. Esto es un riesgo latente ya que la cimentación es una parte importante dentro de la instalación de un compresor ya que permite que trabaje de manera satisfactoria sin que se vea afectada su vida útil.

Al no tener una cimentación, la maquinaria y el equipo está constantemente expuestos a mal funcionamiento como piezas que han sido deterioradas producto de las vibraciones que provocan a su vez desperfectos en los instrumentos de medición, ruidos, holgura entre la unión de las tuberías conectadas, daño de tuberías, etc. La cimentación de la maquinaria y de los equipos mecánicos es muy compleja debido a que, además de su peso estático, están sometidos a fuerzas dinámicas que pueden llegar a ser factores claves en el desempeño de la maquinaria.

Para la cimentación es recomendable un estudio dinámico que debe tomar en cuenta los valores referentes al suelo, subsuelo, peso, forma y fuerzas de volteo que se producen comúnmente en el sistema motor-compresor.

El objetivo principal de la cimentación es que las deformaciones y vibraciones producto del conjunto máquina, cimentación y suelo, cumpla con los requisitos que marcan las normas vigentes, además, que tenga la suficiente capacidad para resistir las fuerzas a las que estará sujeta en su vida útil que incluye, también, factores externos: temperatura, sismos, viento, etc.

## **2.2. Tipo de sistema de aire comprimido en las instalaciones**

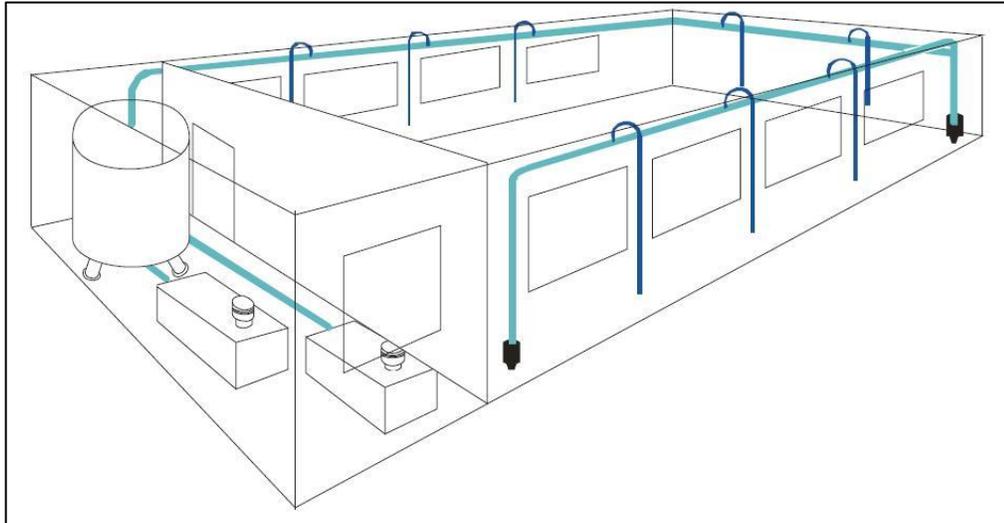
La empresa Naturaceites actualmente posee un sistema de aire comprimido abierto con determinadas pendientes a lo largo de toda la instalación que permiten mantener el nivel de condensado dentro de sus parámetros establecidos. Otro factor decisivo en el tipo de sistema en Naturaceites fue la inversión inicial ya que la implementación de un circuito cerrado sobrepasaba el presupuesto asignado para el proyecto.

Al ser un sistema de aire comprimido abierto posee una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio. Su ventaja principal es la poca inversión inicial que requiere si es comparado con los otros sistemas. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados. La desventaja principal de este tipo de redes es su mantenimiento ya que cuando es necesario realizar alguna acción correctiva, en la mayoría de los casos, se debe cortar el flujo de aire en toda la parte siguiente al punto de trabajo del sistema de aire comprimido.

Existen otros tipos de sistemas de aire comprimido como el cerrado cuya línea principal constituye un circuito cerrado y la red mixta que presenta características tanto de una red cerrada como de una abierta; sin embargo, estos tipos de redes no están presentes en las instalaciones de Naturaceites.

Los sistemas de aire comprimido abiertos poseen características muy similares y su diseño es muy parecido, únicamente se presentan variaciones mayores cuando así lo requiere el proceso por su naturaleza de producción. A continuación, se presenta un ejemplo ilustrativo de red abierta.

Figura 23. **Sistema abierto de aire comprimido**



Fuente: Pinterest. *Fijado*. [http://3.bp.blogspot.com/\\_qjfmaGawmmQ/TH9oAjqnymI/ccU5xzilHo/s1600/Red+Abierta.JPG](http://3.bp.blogspot.com/_qjfmaGawmmQ/TH9oAjqnymI/ccU5xzilHo/s1600/Red+Abierta.JPG). Consulta: 3 de agosto de 2016.

### **2.3. Oportunidades de mejora identificadas en la red de aire comprimido**

- Cimentación
- Trampas de condensado
- Estandarización de tubería
- Limpieza de filtros y tubería

La estandarización de tubería es la oportunidad de mejora con mayor viabilidad y con mayor impacto en las pérdidas de presión como monetarias.

## 2.4. Evaluación de riesgos

### 2.4.1. Matriz de riesgos

La matriz de riesgos es una herramienta de gestión que permite determinar objetivamente los riesgos relevantes para la seguridad y salud de los trabajadores que enfrenta una organización. Su llenado es simple y requiere del análisis de las tareas que desarrollan los trabajadores. Sirve para analizar el nivel de riesgo presente en los trabajos para comparar por nivel de riesgo diferentes tareas, para proponer acciones concretas para disminuir los riesgos y para estimar el impacto que estas acciones tendrán sobre el nivel de riesgo de los trabajadores.

Tabla I. **Estimación del riesgo**

		<b>Severidad</b>		
		<b>Ligeramente dañino (LD)</b>	<b>Dañino (D)</b>	<b>Extremadamente dañino (ED)</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>Baja (B)</b>	Riesgo trivial (T)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)
	<b>Media (M)</b>	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)
	<b>Alta (A)</b>	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)	Riesgo intolerable (IN)

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Matriz de riesgos

Clase de Peligros	Peligro	Subtipo	Consecuencia	PROBABILIDAD						SEVERIDAD				ESTIMACIÓN DEL RIESGO	Prioridad
				B	M	A	LD	D	ED						
Físicos	Ruido		HNIR, o DAIR / Estrés	1							1			TOLERABLE	C
Físicos	Iluminación	Deficiente	Fatiga ocular / Caídas		1						1			MODERADO	B
Químicos	Líquidos peligrosos		Intoxicación aguda-crónica / cáusticos / corrosivos	1							1			TOLERABLE	C
Químicos	Gases		Intoxicación aguda-crónica / cáusticos / corrosivos	1							1			TOLERABLE	C
Ergonómicos	Manipulación de cargas		Lesiones osteomusculares		1						1			MODERADO	B
Incendio			Quemaduras / muerte		1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Heridas	Cortantes			1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Heridas	Punzantes			1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Heridas	Corto punzantes			1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Heridas	Corto contundentes			1						1			TOLERABLE	C
Mecánicos	Traumatismos	Contusiones	Politraumatismos / muerte		1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Traumatismos	Aplastamientos	Politraumatismos / muerte		1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Traumatismos	Golpes por objetos	Politraumatismos / muerte	1							1			TRIVIAL	C
Mecánicos	Traumatismos	Golpes contra objetos	Politraumatismos / muerte		1						1			MODERADO	B
Mecánicos	Atrapamiento	Aplastamientos	Politraumatismos / muerte		1						1			MODERADO	B
Inundación	Traumatismos	Golpes por objetos	Politraumatismos / muerte	1							1			TOLERABLE	C
Inundación	Traumatismos	Golpes contra objetos	Politraumatismos / muerte	1							1			TOLERABLE	C

Fuente: elaboración propia.

## **2.5. Señalización industrial**

En Naturaceites, el área de generación de aire comprimido comprende un área de 24 metros cuadrados rodeada por un muro de 0,7 metros de altura, 1,3 metros de malla y un techo de lámina para proteger los compresores de la lluvia principalmente. Además, está identificada con pintura color amarillo tipo cebrá en el suelo y sus respectivas señales de precaución e indicación en la entrada.

Según el acuerdo gubernativo, que especifica que las tuberías “Se deben pintar con colores de acuerdo a las normas locales o internacionales de referencia, distintos para cada fluido o grupo de fluidos de la misma naturaleza que conduzcan,”<sup>7</sup> actualmente, la tubería de las instalaciones que comprende el sistema de distribución de aire comprimido está pintada de color gris. Cumple con la legislación vigente ya que esta no especifica algún color.

## **2.6. Equipo de protección personal**

Naturaceites según la legislación vigente, el acuerdo gubernativo que especifica: “los equipos de protección personal deben utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse convenientemente con las protecciones colectivas. Estos equipos deben proporcionar una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso. Debe existir un registro de entrega del equipo de protección personal, incluyendo fecha y nombre del trabajador.”<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Ministerio de trabajo y previsión social. *Acuerdo gubernativo 33-2016. Ley federal del trabajo.* p. 45.

<sup>8</sup> *Ibíd.*

La empresa, según la jerarquía de controles de seguridad utiliza la filosofía de que el equipo de protección personal suele ser esencial; pero es generalmente la última alternativa luego de los controles de ingeniería, de las prácticas laborales y de los controles administrativos. Los controles de ingeniería implican la modificación física de una máquina o del ambiente de trabajo. Los controles administrativos implican modificar cómo y cuándo los trabajadores realizan sus tareas: los horarios de trabajo y la rotación de trabajadores con el fin de reducir la exposición. Las prácticas laborales implican la capacitación de los trabajadores en la forma de realizar tareas que reducen los peligros de exposición en el lugar de trabajo.

Figura 25. **Jerarquía de controles de seguridad**



Fuente: Soft Expert. *ISO 9001:2015*. <http://www.nueva-iso-45001.com/wp-content/uploads/2015/11/esquema.png>. Consulta: 3 de agosto de 2016.

En Naturaceites, los colaboradores que pertenecen al equipo de mantenimiento, quienes se encargan de realizar las actividades correctivas y preventivas al sistema de aire comprimido, utilizan los siguientes equipos de protección personal:

- Zapato industrial: este se clasifica según su nivel de protección ofrecido y se selecciona según las actividades cotidianas; en este caso los colaboradores utilizan zapato industrial dieléctrico que sustituye el acero en la punta por materiales como fibra de vidrio o policarbonato que brinda la misma protección que el acero sin ser conductor eléctrico.
- Casco: los colaboradores utilizan cascos de clase E que protegen contra impactos y penetración de objetos que caen o vuelan, y choques eléctricos de alto voltaje y quemaduras (hasta 20 000 voltios). Los cascos son utilizados para impedir la penetración y absorber el choque del golpe que pueda ocasionar cualquier objeto que cae desde arriba u objetos que se encuentran en el área de trabajo a la altura de la cabeza.

## **2.7. Pérdidas de presión**

La resistencia al flujo de aire comprimido a través de una tubería incrementa por la presencia de accesorios y, por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida.

Para fines de prácticos cálculo, dichas resistencias se expresan en longitudes de tubo recto, estas se suman a la longitud real de la tubería, formando la longitud real equivalente.

### 2.7.1. Codos equivalentes

Para determinar la longitud de la tubería debido a la existencia de accesorios, se utilizará el método de codos equivalentes que consiste en relacionar los accesorios con la resistencia que ocasionaría un codo de 90 grados; se halla así un número determinado de codos equivalentes que a su vez se convierten en una longitud recta con la fórmula siguiente:

$$LEq = CEq * \frac{25 * Dt}{12} \quad [Ec.1]$$

Donde:

- LEq= longitud equivalente
- CEq= número de codos equivalentes
- Dt= diámetro de tubería

Para relacionar los accesorios con los codos equivalentes se utiliza la siguiente tabla:

Tabla II. **Codos equivalentes de accesorios**

Nombre de la parte	Codos equivalentes	
	Tubo de hierro	Tubo de cobre
Válvula de ángulo radiador	2	3
Válvula de globo abierta	12	17
Válvula de compuerta abierta	0,5	0,7
Válvula de bola	2	3
Tee con desviación de 100 %	1,8	1,2
Tee con desviación de 50 %	4	4
Tee con desviación de 33 %	9	11
Tee con desviación de 25 %	16	20
Codo de 90	1	1
Codo de 90 con curva grande	0,5	0,5
Codo de 45	0,7	0,7
Unión de reducción	0,4	0,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Accesorios del sistema**

Accesorio	Diámetro	Cantidad
Válvula de bola	2"	6
Válvula de bola	1"	6
Válvula de bola	¾"	15
Válvula de bola	½"	20
Codos	¾"	19
Codos	½"	27
Codos	1"	9
Codos	2"	6
Tees	¾"	8
Tees	½"	6
Tees	1"	2
Tees	2"	2
Reducciones	2"	2
Reducciones	1"	2
Reducciones	½"	9
Reducciones	¾"	5

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la fórmula 1 a los accesorios descritos en la tabla II se obtienen los siguientes datos:

Tabla IV. **Longitud equivalente por accesorios**

Accesorio	Diámetro	Cantidad	Codos equivalentes	Longitud equivalente
Válvula de bola	2"	6	2	50
Válvula de bola	1"	6	2	25
Válvula de bola	¾"	15	2	46,88
Válvula de bola	½"	20	2	41,67
Codos	¾"	19	1	29,69
Codos	½"	27	1	28,13
Codos	1"	9	1	18,75
Codos	2"	6	1	25
Tees	¾"	8	1,8	22,5
Tees	½"	6	1,8	11,25
Tees	1"	2	1,8	7,5
Tees	2"	2	1,8	15
Reducciones	2"	2	0,7	5,83
Reducciones	1"	2	0,7	2,92
Reducciones	½"	9	0,7	6,56
Reducciones	¾"	5	0,7	5,47

Fuente: elaboración propia.

## 2.7.2. Pérdidas por fricción

Tabla V. Factores (F) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial

CFM	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"
5	12,7	1,2	0,5						
10	50,7	7,8	2,2	0,5					
15	114	17,6	4,9	1,1					
20	202	304	8,7	2	0,9				
30	456	70,4	19,6	4,5	2				
40	811	125,3	34,8	8,1	3,6				
50		196	54,4	12,6	5,6	1,5			
60		282	78,3	18,2	8	2,2			
70		385	106,6	24,7	10,9	2,9	1,1		
80		503	139,2	32,3	14,3	3,8	1,5		
90		646	176,2	40,9	18,1	4,8	1,9		
100		785	217,4	50,5	22,3	6	2,3		
150			490	113,6	50,3	13,4	5,2	1,6	
200			870	202	89,4	23,9	9,3	2,9	
300				454	201	53,7	20,9	6,6	
400						94,7	37,1	11,7	2,7
500						150	58	18,3	4,3
600						215	83,5	26,3	6,2
700						294	113,7	35,8	8,5
800						382	148,4	46,7	11,1
900						486	188	59,1	14
1000						600	232	73	17,3

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los datos correspondientes a la situación actual del sistema de aire comprimido en Naturaceites; esta información será utilizada para realizar los cálculos necesarios en el capítulo.

Tabla VI. **Consumo de aire de equipos**

Equipo	Presión PSI	Consumo CFM	Factor de utilización
Caldera	12 – 20	6	1
Taponadora	5	26	0,9
Sopladora de filtro	80	78	0,3
Instrumentación	80	40	1
Llenado PET	80	20	0,9
Llenado doypack	80	75	0,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Longitudes de las líneas de aire**

Línea	Longitud (pie)
Primaria	96
Secundaria	211
Servicio	123

Fuente: elaboración propia.

### 2.7.3. Consumo de aire

Para determinar las pérdidas de presión en un sistema de aire comprimido, se inicia calculando el consumo total de aire del equipo, el cual se obtiene de la suma de los consumos individuales de todos los equipos y máquinas neumáticas que se utilizan o desean instalar.

El factor de utilización, como su nombre lo indica, determina que tan recurrente es el uso del equipo y a su vez la recurrencia de consumo de aire

adicional al consumo de los equipos, para determinar el caudal de diseño, se agrega un 5 % por desgaste y 25 % por futuras ampliaciones.

Utilizando los datos de la tabla I:

- $Q = 6 \text{ cfm} + 26 \cdot 0,9 \text{ cfm} + 78 \cdot 0,3 \text{ cfm} + 40 \text{ cfm} + 20 \cdot 0,9 \text{ cfm} + 75 \cdot 0,9 \text{ cfm}$
- $Q = 178,3 \text{ cfm}$
- $Q = 178,3 \text{ cfm} + 178,3 \cdot 0,05 \text{ cfm} + 178,3 \cdot 0,25 \text{ cfm}$
- $Q = 231,8 \text{ CFM}$

#### **2.7.4. Presión de instalación**

La presión de instalación se fija con base en el equipo neumático que mayor presión requiere para accionar. En el caso de Naturaceites, con los datos recopilados en la tabla I, se determina que la presión de instalación ( $P_1$ ) es de 80 libras por pulgada cuadrada (Psi).

#### **2.7.5. Pérdida de presión admisible**

Para el cálculo de la presión admisible, se utiliza un factor teórico que varía entre un 3 % y un 6 % de la presión de instalación. Por lo tanto, con la presión de instalación establecida previamente y un factor de 5 % se tiene lo siguiente:

$$P_2 = P_1 \cdot 0,05 \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$P_2 = 80 \cdot 0,05$$

$$P_2 = 4 \text{ Psi}$$

### 2.7.6. Presión demandada

Está conformada por la suma de la pérdida de presión admisible y la presión de instalación.

$$P = P_1 + P_2 \quad [\text{Ec.3}]$$

$$P = 80 \text{ Psi} + 4 \text{ Psi}$$

$$P = 84 \text{ Psi}$$

### 2.7.7. Longitud de tubería

La longitud de tubería se compone de la suma de las longitudes de tubo recto a las que equivalen los accesorios y la longitud real de la tubería.

$$L_T = \text{Longitud Real} + \text{LEq} \quad [\text{Ec. 4}]$$

### 2.7.8. Red primaria

La red primaria está compuesta por la tubería con un diámetro de 2”.

$$L_T = 96 \text{ pies} + 95,83 \text{ pies}$$

$$L_T = 191,83 \text{ pies}$$

#### 2.7.8.1. Red secundaria

La red secundaria está compuesta por las tuberías con un diámetro de  $\frac{3}{4}$ ” y 1”.

$$L_T = 211 \text{ pies} + 158,71 \text{ pies}$$

$$L_T = 369,71 \text{ pies}$$

### **2.7.8.2. Red de servicio**

La red de servicio está compuesta por la tubería de diámetro ½”.

$$L_T = 123 \text{ pies} + 87,61 \text{ pies}$$

$$L_T = 210,61 \text{ pies}$$

### **2.7.9. Cálculo de pérdidas parciales de presión**

Para el cálculo de la pérdida de presión se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{F * LEq}{R * 1000} \quad [\text{Ec.5}]$$

Donde:

- F = factor de pérdida
- LEq = longitud equivalente
- R = factor de tubería

El factor de pérdida se obtiene de la tabla IV con base en los CFM que consume el sistema y el diámetro de la tubería en pulgadas.

El factor de tubería se obtiene de la relación entre la presión de trabajo y la presión manométrica.

$$= \frac{P. Trabajo + P. Manométrica}{P. Manométrica} \quad [Ec. 6]$$

$$R = \frac{80 \text{ Psi} + 14,7 \text{ Psi}}{14,7 \text{ Psi}}$$

$$R = 6,44$$

### 2.7.9.1. Red primaria

Con el diámetro de la red primaria de tubería de 2" y un consumo de 321 CFM obtenemos de la tabla IV un F de 33,13.

Entonces utilizando los valores obtenidos en la fórmula 5, se obtienen lo siguiente:

$$P = \frac{33,13 * 191,83}{6,44 * 1000}$$

$$P = 0,98 \text{ Psi}$$

### 2.7.9.2. Red secundaria

Con el diámetro de la red secundaria de tubería de 1" y  $\frac{3}{4}$ " y un consumo de 80 CFM se obtiene de la tabla IV un F de 139,20 y 503, respectivamente.

Entonces utilizando la fórmula 5 se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{139,2 * 221,83}{6,44 * 1000} + \frac{503 * 147,88}{6,44 * 1000}$$

$$P = 4,79 + 11,55 = 16,34 \text{ Psi}$$

### **2.7.9.3. Red de servicio**

Con el diámetro de la red secundaria de tubería de ½" y un consumo de 18 CFM se obtiene de la tabla IV un F de 202.

Entonces, con la fórmula 5 se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{202 * 210,61}{6,44 * 1000}$$

$$P = 6,60 \text{ Psi}$$

### **2.7.10. Cálculo de pérdida total**

La pérdida total de presión es la suma de todas las pérdidas parciales que se tienen en el sistema de aire comprimido.

$$P = \Delta P_{Principal} + \Delta P_{Secundaria} + \Delta P_{Servicio} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Con la fórmula 7 los valores obtenidos previamente se obtienen:

$$P = 0,98 + 16,34 + 6,6$$

$$P = 23,92 \text{ Psi}$$

### 2.7.11. Porcentaje de pérdida

$$\% \text{ pérdida de presión} = \frac{(\text{Pérdida de presión} * 100)}{\text{Presión demandada}} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$\% \text{ pérdida de presión} = \frac{23,92}{84} * 100$$

$$\% \text{ pérdida de presión} = 28,48 \%$$

### 2.7.12. Comparación entre pérdida admisible y pérdida de diseño

El porcentaje de pérdida del sistema de aire comprimido utilizado en Naturaceites es de 28,48 %. Con un porcentaje de pérdida admisible de 5 % se obtiene que, actualmente, en la red se pierda casi ocho veces más presión que la esperada. En este caso, luego de haber realizado el estudio de la situación actual, es necesario emprender acciones correctivas que permitan la reducción de estas pérdidas idealmente hasta llegar al 5 % establecido o menos.

## 2.8. Costos asociados a pérdidas de presión

Los costos que se generan tanto en el sistema de generación como en el de distribución de aire comprimido, se determinan con base en el consumo de energía eléctrica de todo el sistema. Este consumo total de energía es multiplicado por el factor de pérdida con lo cual obtenemos la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por pérdida} = P * h * C * \text{factor de pérdida} \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde:

- P = potencia en kW
- h = horas de trabajo
- C = costo en quetzales por kW consumido

Con los datos obtenidos de las hojas de especificaciones técnicas del fabricante de cada compresor del sistema de aire comprimido, un factor de pérdida de 0,2848, un costo de 0,7Q/kWh obtenido de la empresa eléctrica que brinda el servicio EEGSA; aplicando la fórmula 9 se obtiene lo siguiente:

Tabla VIII. **Consumo de aire de equipos**

Compresor	Potencia kW	Horas anuales	Costo Q/kWh	Factor de pérdida	Costo anual por pérdida
Kaeser 10 HP	7,5	2300	0,7	0,2848	Q 3 438,96
Kaeser 30 HP	22,25	7100			Q 31 493,90
Gardener Denver 25 HP	18,75	7100			Q 26 539,80
Gardener Denver 25 HP	18,75	2300			Q 8 597,40

Fuente: elaboración propia.

Costo anual pérdida total = Q3 438,96 + Q31 493,90 + Q26 539,80 + Q8 597,40

Costo anual pérdida total = Q 70 070,06

El costo anual debido a las pérdidas equivalentes al 28,48 % que se tienen en el sistema de aire comprimido actualmente asciende a Q 70 070,06 según cálculos anteriores obtenidos. El objetivo es que esta cantidad sea reducida realizando una propuesta de mejora para la empresa Naturaceites que pretende reducir costos a largo plazo con el financiamiento de la propuesta.

En capítulos posteriores se detalla el plan de inversión con su respectiva tabla de representación de flujo económico de la propuesta de mejora que incluye todos los aspectos financieros necesarios para evaluar la misma como intereses, inversión inicial, flujos de efectivo, indicadores, impuestos, etc.

## **2.9. Normas que certifican la empresa**

Para Naturaceites las certificaciones de calidad son elementos importantes para trabajar en el mejoramiento continuo en la calidad de los procesos que realizan y demuestran al cliente la calidad del producto que está obteniendo. La empresa posee una única certificación que corresponde a la FSSC 2200 cuyo contenido y generalidades se describen a continuación:

- FSSC 2200

La certificación de sistemas de seguridad alimentaria 22000 (FSSC 22000), es un sistema de certificación sólido y basado en las normas ISO, aceptado a nivel internacional para la auditoría y la certificación de la seguridad alimentaria en toda la cadena de suministro.

La FSSC 22000 utiliza las normas existentes ISO 22000, ISO 22003 y las especificaciones técnicas de los PPR del sector, que fueron desarrolladas a

través de una consulta amplia y abierta con un gran número de organizaciones afines. Los fabricantes certificados por la ISO 22000 pueden obtener la

La FSSC 22000 ha sido desarrollada para la certificación de sistemas de seguridad alimentaria de organizaciones de la cadena alimentaria que procesan o fabrican productos de origen animal, productos vegetales perecederos, productos con una larga vida útil, ingredientes alimenticios como aditivos, vitaminas y cultivos biológicos y materiales para el envasado de alimentos.

### **3. PROPUESTA DE MEJORA**

#### **3.1. Cálculo del diámetro óptimo propuesto para la instalación**

Con base en la información recopilada en el diagnóstico de la situación actual del sistema de aire comprimido en Naturaceites, se tienen cuatro diámetros diferentes de tubería: siendo estos de 2", 1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ "; estos cambios de diámetro representan mayor uso de accesorios como uniones y reducciones que aumentan las pérdidas por fricción.

La propuesta de mejora tiene contemplado la estandarización de diámetros de tuberías en determinadas secciones del sistema de distribución para lo cual se plantea el cambio de la tubería de  $\frac{3}{4}$ " por una de 1". Con base en esta propuesta se realizarán los cálculos respectivos a lo largo de todo el capítulo.

##### **3.1.1. Caudal utilizado**

Para determinar el caudal utilizado se suman los consumos individuales de todos los equipos y las máquinas neumáticas que se utilizan o desean instalar, debido a que en la propuesta de mejora no se tiene contemplado agregar nuevos equipos al sistema, se utilizan los datos detallados en la tabla V y se obtiene lo siguiente:

$$Q = 6 \text{ cfm} + 26 \cdot 0,9 \text{ cfm} + 78 \cdot 0,3 \text{ cfm} + 40 \text{ cfm} + 20 \cdot 0,9 \text{ cfm} + 75 \cdot 0,9 \text{ cfm}$$
$$Q = 178,3 \text{ cfm}$$

### 3.1.2. Caudal de diseño

Para determinar el caudal de diseño se agrega un 5 % y 25 % del caudal utilizado para compensar el desgaste de la tubería y las futuras ampliaciones respectivamente.

$$Q = 178,3 \text{ cfm} + 178,3 * 0,05 \text{ cfm} + 178,3 * 0,25 \text{ cfm}$$

$$Q = 231,8 \text{ CFM}$$

### 3.1.3. Presión máxima

La presión de instalación máxima para la propuesta de mejora se obtiene con los datos recopilados en la tabla I, cuya presión será la misma ya que no se tiene previsto agregar equipos que trabajen a mayor presión, por lo tanto, ( $P_1$ ) es de 80 libras por pulgada cuadrada (Psi).

Al agregar un 5 % a la presión de trabajo admisible se obtiene la presión máxima:

$$P_2 = P_1 * 0,05$$

$$P_2 = 80 * 0,05$$

$$P_2 = 4 \text{ Psi}$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = 80 \text{ Psi} + 4 \text{ Psi}$$

$$P = 84 \text{ Psi}$$

### 3.1.4. Longitud equivalente

La longitud de tubería se compone de la suma de las longitudes de tubo recto a las que equivalen los accesorios y la longitud real de la tubería. Según el nuevo diámetro de tubería propuesto, los accesorios utilizados en el sistema se detallan en la tabla VIII.

Tabla IX. **Accesorios del sistema**

<b>Accesorio</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Cantidad</b>
Válvula de bola	2"	6
Válvula de bola	1"	21
Válvula de bola	1/2"	20
Codos	1/2"	27
Codos	1"	28
Codos	2"	6
Tees	1/2"	6
Tees	1"	10
Tees	2"	2
Reducciones	2"	2
Reducciones	1"	2
Reducciones	1/2"	9

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la fórmula 1 a los accesorios descritos en la tabla VIII se obtienen los siguientes datos:

Tabla X. **Longitud equivalente por accesorios**

<b>Accesorio</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Codos equivalentes</b>	<b>Longitud equivalente</b>
Válvula de bola	2"	6	2	50
Válvula de bola	1"	21	2	84,5
Válvula de bola	½"	20	2	41,67
Codos	½"	27	1	28,13
Codos	1"	28	1	58,33
Codos	2"	6	1	25
Tees	½"	6	1,8	11,25
Tees	1"	10	1,8	37,5
Tees	2"	2	1,8	15
Reducciones	2"	2	0,7	5,83
Reducciones	1"	2	0,7	2,92
Reducciones	½"	9	0,7	6,56

Fuente: elaboración propia.

#### **3.1.4.1. Red primaria**

La red primaria está compuesta por la tubería con un diámetro de 2".

$$L_T = 96 \text{ pies} + 95,83 \text{ pies}$$

$$L_T = 191,83 \text{ pies}$$

#### **3.1.4.2. Red secundaria**

La red secundaria está compuesta por las tuberías con un diámetro de 1".

$$L_T = 211 \text{ pies} + 183,25 \text{ pies}$$

$$L_T = 394,25 \text{ pies}$$

### **3.1.4.3. Red de servicio**

La red de servicio está compuesta por la tubería de diámetro ½”.

$$L_T = 123 \text{ pies} + 87,61 \text{ pies}$$

$$L_T = 210,61 \text{ pies}$$

### **3.1.5. Pérdida de presión**

Para el cálculo de la pérdida de presión se utiliza la fórmula 5.

El factor de pérdida se obtiene de la tabla IV con base en los CFM que consume el sistema y el diámetro de la tubería en pulgadas.

El factor de tubería se obtiene de la relación entre la presión de trabajo y la presión manométrica que, en este caso debido a que no hay modificaciones de presión propuestas para el sistema, será el mismo  $R = 6,44$ .

#### **3.1.5.1. Red primaria**

Según el diámetro de la red primaria de tubería de 2” y un consumo de 321 CFM se obtiene con la tabla IV un F de 33,13.

Entonces, con los valores obtenidos en la fórmula 5 se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{33,13 * 191,83}{6,44 * 1000}$$

$$P = 0,98 \text{ Psi}$$

### **3.1.5.2. Red secundaria**

Tomando el diámetro de la red secundaria de tubería de 1" y un consumo de 80 CFM se obtiene de la tabla IV un F de 139.2.

Entonces con la fórmula 5, se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{139,2 * 394,25}{6,44 * 1000}$$

$$P = 8,52 \text{ Psi}$$

### **3.1.5.3. Red de servicio**

Según el diámetro de la red secundaria de tubería de ½" y un consumo de 18 CFM se obtiene de la tabla IV un F de 202.

Entonces con la fórmula 5, se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{202 * 210,61}{6,44 * 1000}$$

$$P = 6,60 \text{ Psi}$$

#### 3.1.5.4. Cálculo de pérdida total

La pérdida total de presión es la suma de todas las pérdidas parciales que se tienen en el sistema de aire comprimido.

$$P = \Delta P_{Principal} + \Delta P_{Secundaria} + \Delta P_{Servicio}$$

Aplicando en la fórmula 7 los valores previos se obtiene que:

$$P = 0,98 + 8,52 + 6,6$$

$$P = 16,10 \text{ Psi}$$

#### 3.1.5.5. Porcentaje de pérdida

$$\% \text{ perdida de presión} = \frac{(\text{Pérdida de presión} * 100)}{\text{Presión demandada}}$$

$$\% \text{ perdida de presión} = \frac{16,10}{84} * 100$$

$$\% \text{ perdida de presión} = 19,17 \%$$

#### 3.1.5.6. Comparación entre pérdida admisible y pérdida de diseño

El porcentaje de pérdida del sistema de aire comprimido que se obtiene aplicando la propuesta de mejora es de 19,17 %. Con un porcentaje de pérdida admisible de 5 % se puede evidenciar que incluso con la propuesta de mejora no se obtiene la pérdida admisible para el sistema. Sin embargo, representa

una mejora significativa que es factible analizar desde el punto de vista de inversión.

### 3.2. Costo anual de operación de la instalación de aire comprimido

Al utilizar en la fórmula 9, los datos obtenidos de las hojas de especificaciones técnicas del fabricante de cada compresor, que forma parte del sistema de aire comprimido, un factor de pérdida de 0,1917, un costo de 0,7Q/kWh, obtenido de EEGSA, la empresa eléctrica que brinda el servicio, se obtiene el costo anual por pérdida de la red.

Tabla XI. Consumo de aire de equipos

Compresor	Potencia kW	Horas anuales	Costo Q/kWh	Factor de pérdida	Costo anual por pérdida
Kaesar 10 HP	7,5	2300	0,7	0,1917	Q 2 314,78
Kaesar 30 HP	22,25	7100			Q 21 198,66
Gardener Denver 25 HP	18,75	7100			Q 17 864,04
Gardener Denver 25 HP	18,75	2300			Q 5 786,94

Fuente: elaboración propia.

Costo anual pérdida total = Q2 314,78 + Q21 198,66 + Q17 864,04 + Q5 786,94

Costo anual pérdida total = Q 47 164,42

El costo anual debido a las pérdidas equivalentes al 19,17 % que se obtienen al implementar la propuesta de mejora, ascienden a Q47 164,42.

### **3.3. Estudio financiero**

El objetivo de realizar un estudio financiero es ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores a la propuesta de mejora y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica.

#### **3.3.1. Supuestos generales**

Supuestos que se realizan en torno a los diferentes aspectos que forman parte del estudio financiero que son necesarios para llevar a cabo la propuesta de mejora.

- Aspectos de mercado: los materiales más utilizados en los sistemas de aire comprimido son el acero, acero galvanizado, pvc y acero fino. Estos tipos de tubería se encuentran disponibles en el mercado guatemalteco.
- Aspectos técnicos: los colaboradores del área de mantenimiento poseen la capacidad técnica y habilidad para realizar la instalación de la nueva tubería que se tiene contemplada en la propuesta de mejora.
- Aspectos económicos financieros: el área de mantenimiento de Naturaceites está dispuesta a evaluar la propuesta de mejora y de ser satisfactorio el resultado, a realizar las respectivas gestiones administrativas para obtener el presupuesto y ejecutarla.
- Aspectos tributarios: la propuesta de mejora no contempla el pago de ningún otro impuesto además del IVA que se encuentra incluido en el precio de la nueva tubería.

### 3.3.2. Inversión

La inversión es la acción en la que se utilizan ciertos bienes con el objetivo de obtener ingresos a lo largo del tiempo. La inversión se refiere al empleo de capital en algún tipo de actividad económica o negocio, con el objetivo de incrementarlo. Dicho de otra manera, consiste en renunciar a un consumo actual y cierto, a cambio de obtener unos beneficios futuros y distribuidos en el tiempo.

La inversión comprende todos los activos tangibles e intangibles, gastos preoperativos, cambios de capital de trabajo y los ingresos después de impuestos obtenidos por la venta de activos viejos.

- Inversión inicial

Está comprendida por el costo de la tubería nueva a utilizar, es tubería de acero galvanizado de 1” de diámetro ya que actualmente el sistema de aire comprimido de Naturaceites utiliza tubería de este material.

No hay cambios de capital de trabajo ya que la mano de obra será aportada por los colaboradores del departamento de mantenimiento durante su jornada laboral estándar.

Se tiene un ingreso monetario obtenido de la venta como material reciclable de la sección de tubería que será removida.

Tabla XII. **Cotización de tubería HG de 1”**

Proveedor	Costo unitario	Cantidad	Total
Ferretería Lewonski	Q 220	25	Q 5 500
Multiperfiles	Q148	25	Q 3 700
Ferretería Petapa	Q159,85	25	Q 3 996,25

Fuente: elaboración propia.

La cotización de tubería se realizó con tres diferentes proveedores de la ciudad de Guatemala. La medida estándar de cada unidad de tubería que maneja el mercado es de seis metros lineales y la longitud total de la tubería de  $\frac{3}{4}$ " es de 147,88 metros.

### **3.3.3. Depreciación**

Es una reducción periódica, generalmente anual, del valor de un bien material o inmaterial. Esta depreciación se produce por el desgaste debido al uso, el paso del tiempo y la vejez. Las tasas que se aplican en la depreciación son de acuerdo a la legislación vigente.

Actualmente, se aplica la depreciación lineal, a partir del valor de adquisición, el saldo se denomina valor en libros y sirve como referencia para su liquidación.

### **3.3.4. Costos de operación 1**

Son costos que se generan en la empresa como resultado de sus actividades regulares del negocio sin incluir los costos de bienes vendidos. Estos gastos incluyen los administrativos: suministros de oficina, salarios para el personal administrativo y prestaciones.

### **3.3.5. Costos de operación 2**

Son costos que se generan en la empresa como resultado de sus actividades regulares del negocio, sin incluir los costos de bienes vendidos. Estos gastos incluyen los administrativos, como los suministros de oficina, salarios para el personal administrativo y prestaciones.

### **3.3.6. Ventas**

Son los ingresos que recibe una empresa procedente de la venta de sus productos o servicios que ofrece. Se calcula como el resultado de multiplicar el precio de venta por el número de unidades de productos vendidas.

En el caso específico de la propuesta de mejora en Naturaceites, no se tienen ventas como tal ya que no se está generando un producto o servicio; sin embargo, para fines financieros se puede tomar el beneficio de la propuesta, el ahorro que se obtiene, como ventas.

### **3.3.7. ISR**

Es un impuesto que grava la utilidad de las personas, empresas u otras entidades legales.

### **3.3.8. Flujo económico**

Para fines financieros se supone una vida del proyecto de cinco años. Se supone un préstamo de Q 5 000 con una tasa del 15 % para llevar a cabo la propuesta de mejora en caso de que Naturaceites no quiera realizar la inversión total.

Los flujos económicos por año con las condiciones previamente establecidas se detallan a continuación:

Tabla XIII. Flujo económico

<b>Inversión</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Tubería	Q 3 700					
Equipo de seguridad industrial	Q 1 000					
Maquinaria y equipo	Q 5 000					
<b>Inversión total</b>	<b>Q 9 700</b>					
<b>Ingresos</b>						
Beneficios (Ventas)		Q 27 290	Q 28 381,6	Q 2 9516,86	Q 3 0697,54	Q 31 925,44
<b>Egresos</b>						
<b>Costos de operación</b>						
Sueldos Admin.		Q 8 000	Q 8448	Q 8 921,09	Q 9 420,67	Q 9 948,22
Prestaciones laborales		Q 3346,4	Q 3 533,8	Q 3 731,7	Q 3 940,66	Q 4 161,34
Salarios personal		Q 6 000	Q 6 336	Q 6 690,82	Q 7 065,50	Q 7 461,17
Prestaciones personal		Q 2 509,8	Q 2 650,35	Q 2 798,77	Q 2 955,50	Q 3 121
Servicios básicos		Q 1500	Q 1 584	Q 1 672,70	Q 1 766,38	Q 1 865,29
Materiales		Q 1 500	Q 1 584	Q 1 672,70	Q 1 766,38	Q 1 865,29
Flujo antes de impuestos	(Q 9 700)	Q 4 433,80	Q 4 245,45	Q 4 029,09	Q 3 782,45	Q 3 503,11
<b>Depreciaciones</b>						
Equipo de seguridad industrial		Q 200				
Maquinaria y equipo		Q 1 000	Q 1 000	Q 1 000	Q 1000	Q 1 000
<b>Depreciación total</b>		<b>Q 1 200</b>	<b>Q 1 200</b>	<b>Q 1 200</b>	<b>Q 1 200</b>	<b>Q 1200</b>
<b>Flujo gravable</b>	<b>(Q 9 700)</b>	<b>Q 3 233,8</b>	<b>Q 3 045,45</b>	<b>Q 2 829,09</b>	<b>Q 2 582,45</b>	<b>Q 2 303,11</b>
<b>ISR (25%)</b>	<b>(Q 2 425)</b>	<b>Q 808,45</b>	<b>Q 761,36</b>	<b>Q 707,27</b>	<b>Q 645,61</b>	<b>Q 575,78</b>
<b>Flujo después de ISR</b>	<b>(Q 7 275)</b>	<b>Q 3 625,35</b>	<b>Q 3 484,09</b>	<b>Q 3 321,82</b>	<b>Q 3 136,84</b>	<b>Q 2 927,33</b>
<b>Depreciación</b>		<b>Q 1 200</b>				
<b>Flujo neto de fondos</b>	<b>(Q 7 275)</b>	<b>Q 3 625,35</b>	<b>Q 3 484,01</b>	<b>Q 3 321,82</b>	<b>Q 3 136,84</b>	<b>Q 2 927,33</b>
VPN	Q 11 220					
TIR	37 %					
VAUE	Q 1 176,85					
B/C	1,54					
<b>Flujo del proyecto</b>						
Flujo neto de fondos	(Q 7 275)	Q 3 625,35	Q 3 484,09	Q 3 321,82	Q 3 136,84	Q 2 927,33

Continuación de la tabla XIII.

Flujo de deuda	Q 5 000	(Q 1 751,33)	(Q 1 751,33)	(Q 1 751,33)	(Q 1 751,33)	
Flujo de inversionista	(Q 2 275)	Q 1 874,02	Q 1 732,76	Q 1 570,49	Q 1 385,51	Q 2 927,33
VPN	<b>Q 3 945</b>					
TIR	<b>74 %</b>					
VAUE	<b>Q 1 176,85</b>					
B/C	<b>2,73</b>					

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.9. Evaluación

La evaluación del proyecto consiste en comparar los costos con los beneficios que se generan durante el horizonte de evaluación para decidir sobre la conveniencia de llevar a cabo las inversiones necesarias.

La influencia del proyecto en las operaciones actuales es la base para conocer la capacidad del promotor para acceder a un determinado nivel de financiamiento

#### 3.3.9.1. Valor presente neto VPN

Con base en los criterios de evaluación obtenidos de la tabla XII del análisis financiero, analizando el VPN se puede determinar que el proyecto recupera la inversión inicial, paga los intereses del 15 % y el préstamo de Q5 000 realizado por la Naturaceites de así desearlo; además, se obtiene un excedente de Q3 945.

El VPN considera de manera explícita el valor del dinero en el tiempo presente de un determinado número de flujos de caja futuros que son

originados por una inversión, descontando los flujos de efectivo a una tasa específica que se conoce como tasa de descuento.

- $VPN > 0$ : el proyecto recupera la inversión inicial, obtiene la rentabilidad deseada y además un excedente que es igual al valor presente neto.
- $VPN = 0$ : el proyecto recupera la inversión inicial y obtiene la rentabilidad deseada, los costos actualizados son iguales que los ingresos actualizados.
- $VPN < 0$ : el proyecto debe rechazarse dependiendo de qué tan negativo es el valor presente neto.

### **3.3.9.2. Tasa interna de retorno TIR**

La TIR obtenida del análisis financiero es del 74 % lo que indica que este porcentaje es el mayor interés que puede soportar la propuesta sin tener pérdidas.

La TIR es la tasa que iguala el valor presente neto a cero, es la tasa de interés a la que el valor actual neto de los costos de la inversión es igual al valor presente neto de los beneficios de la inversión. La tasa interna de retorno es el criterio preferido para distribuir recursos limitados proporcionalmente a proyectos prioritarios y para comparar con la tasa de oportunidad y determinar si el rendimiento de la inversión es suficientemente alto para justificar el proyecto.

- $TIR >$  tasa de descuento: se acepta el proyecto ya que se tiene una rentabilidad mayor que el costo de oportunidad.

- TIR = tasa de descuento: se acepta el proyecto ya que se tiene una rentabilidad igual al costo de oportunidad, es decir que rinde lo esperado.
- TIR < tasa de descuento: se rechaza el proyecto puesto que da una rentabilidad menor al costo de oportunidad, genera pérdidas.

### **3.3.9.3. Valor anual uniforme equivalente VAUE**

El VAUE indica que la propuesta de mejora genera al año un ahorro de Q1 176,85 durante los primeros cinco años. Este método convierte el flujo de caja en valores anuales uniformes con el objetivo de hacer la comparación cada uno de los años de la vida del proyecto.

### **3.3.9.4. Beneficio / costo**

A realizar el beneficio costo de la propuesta del proyecto se obtiene una ganancia de Q1,73 por cada quetzal invertido. El beneficio costo toma los ingresos y egresos netos en el presente y determina cuáles son los beneficios que se obtienen por cada quetzal que se invierte en el proyecto.

- $B / C > 1$ : significa que los ingresos netos son mayores a los egresos netos, el proyecto debe ser financiado puesto que genera ganancias.
- $B / C < 1$ : significa que los egresos netos son superiores a los ingresos netos, el proyecto no debe ser financiado puesto que genera pérdidas.

### **3.3.10. Resumen de la evaluación de la propuesta**

Con base en los criterios de evaluación obtenidos de la tabla XII del análisis financiero, analizando el VPN se puede determinar que el proyecto recupera la inversión inicial, paga los intereses del 15 % y el préstamo de Q 5 000 realizado por la Naturaceites de así desearlo, además, se obtiene un excedente de Q3 945. El mayor porcentaje de interés que puede soportar la propuesta sin tener pérdidas es de 74 % según la TIR obtenida. El VAUE indica que la propuesta de mejora genera al año un ahorro de Q1 176,85 durante los primeros cinco años. Finalmente realizando el beneficio costo se obtiene una ganancia de Q1,73 por cada quetzal invertido.

Todos los indicadores financieros utilizados para la evaluación de la propuesta de mejora indican que es viable realizarla para Naturaceites ya que en menos de cinco años recupera la inversión del cambio de tubería y genera una disminución de costos.

### **3.4. Tratamiento sugerido del aire**

Como se sabe, el aire comprimido es una mezcla homogénea compuesta principalmente de nitrógeno, oxígeno y argón; sin embargo, como en toda mezcla, existen pequeñas cantidades de otro tipo de sustancias como polvo, ceniza volcánica, óxido, residuos de aceite y humedad que actúan como impurezas.

La calidad del aire comprimido que se utiliza en el sistema es muy importante ya que dichas impurezas son la principal causa de averías que se producen en la tubería y otros elementos neumáticos. Las impurezas sólidas generan abrasión y desgaste y la obstrucción de conductos del sistema.

Impurezas líquidas en el aire son la principal causa de corrosión y de daños en empaques.

### **3.4.1. Tratamiento del aire en entrada al compresor**

Los secadores son equipos destinados a tratar el aire o los gases comprimidos, para reducir en ellos su contenido de vapor de agua, disminuyendo el punto de rocío del aire comprimido hasta un nivel suficiente para que la humedad y el vapor de aceite queden reducidos antes de su entrada en las redes de distribución, no debiendo existir condensación de agua en los puestos de utilización.

#### **3.4.1.1. Tipo de secado sugerido**

Debido a las certificaciones con las que cuenta la empresa, se recomienda la implementación de secadores de tipo refrigerativos, estos utilizan un sistema de refrigeración para bajar la temperatura del aire comprimido.

Al bajar la temperatura del aire, el vapor de agua se condensa y forman 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. Entre las principales características de un secador refrigerativo se puede mencionar que el intercambiador de calor 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 y mantiene una consistente temperatura de evaporación en un amplio rango de carga de trabajo y condiciones ambientales.

### **3.4.2. Tratamiento del aire en la salida del compresor**

En la salida del compresor se recomienda colocar una unidad de mantenimiento, que se coloca justo al comienzo de la aplicación neumática. Está formada por un filtro, una válvula reguladora de presión y un lubricador.



## **4. IMPLEMENTACIÓN**

### **4.1. Importancia del mantenimiento del sistema de aire comprimido**

El mantenimiento de un sistema de aire comprimido permite obtener resultados satisfactorios respecto a la operación continua de los diferentes procesos en los que el aire comprimido es utilizado; también, en el área económica ya que mediante la planificación es posible asignar un presupuesto determinado a los mantenimientos y, por consiguiente, tener un flujo económico estable.

#### **4.1.1. Mantenimiento de conservación**

El mantenimiento tiene como objetivo principal conservar en óptimas condiciones un artículo que desempeña determinada función mediante las acciones técnicas y administrativas correspondientes. Específicamente el mantenimiento de conservación busca disminuir el deterioro ocasionado por el uso y agentes del medio ambiente que puedan influir. El mantenimiento de conservación puede ser correctivo y preventivo.

##### **4.1.1.1. Correctivo**

Su función principal es reparar defectos que han sido detectados en el sistema actuando en el menor tiempo posible, con los medios disponibles que se contemplados para este fin.

#### **4.1.1.2. Preventivo**

El mantenimiento preventivo busca alargar la vida útil de los componentes y evitar que se produzca cualquier avería que pueda afectar el funcionamiento óptimo del sistema; como resultado se pueden reemplazar equipos o insumos que los mismos utilicen y también realizar diagnósticos que permitan buscar inconvenientes y soluciones.

#### **4.2. Rutinas de mantenimiento**

Es coordinar inspecciones de mantenimiento periódicas a los componentes que así lo requieran; en este caso al sistema de generación y distribución de aire comprimido. Las rutinas de mantenimiento deben ser realizadas por personal calificado cuya experiencia en los artículos sea una ventaja que permita valerse de técnicas como el voso (ver, oír, sentir, oler).

##### **4.2.1. Periodicidad**

La periodicidad de las rutinas de mantenimiento es determinada con base a los requerimientos específicos de cada componente del sistema, generalmente dichos requerimientos son establecidos siguiendo las recomendaciones del manual de fabricante, historial de mantenimiento del equipo, datos de placa, partes, repuestos, etc.

#### **4.3. Mantenimiento del compresor**

El mantenimiento de los compresores puede ser realizado de acuerdo a las tablas de tiempos estándares o mediante el monitoreo de las horas de utilización del compresor. Actualmente, el fabricante brinda una serie de

controles que contiene una guía de solución de problemas comunes, diagnósticos e indicadores de fallas.

En los compresores de tornillo los utilizados en el sistema por Naturaceites, existen cinco áreas generales que requieren mantenimiento: tornillos, motor, tren de transmisión, lubricantes y filtros.

#### **4.3.1. Tornillos**

Los tornillos y sus cojinetes sufren daños debido a la contaminación en el aire y lubricantes producidos por calor excesivo. Es recomendable realizar una detección de ruidos extraños y vibraciones, así como identificar problemas e interpretar las alarmas del sistema. Generalmente el fabricante recomienda la reconstrucción de los tornillos entre las 50 000 y 60 000 horas para evitar paros totales del sistema.

#### **4.3.2. Motor**

Los cojinetes siempre deben de lubricarse con el adecuado tipo y cantidad de grasa. Es recomendable realizar el cambio de cojinetes del motor durante el mantenimiento conservativo. Verificar constantemente el amperaje para tener la seguridad de que el motor no está siendo sobrecargado. Proveer la ventilación y temperatura ambiente adecuada en el área de compresores aumenta la vida del motor.

#### **4.3.3. Tren de transmisión**

El sistema de transmisión siempre debe estar alineado. Si el marco se asienta, la desalineación causará daños en el acoplamiento. Los engranajes deben estar propiamente lubricados. Se debe inspeccionar y ajustar la tensión

de la faja al menos cada 500 horas de funcionamiento, las fajas desgastadas o dañadas deben ser reemplazadas.

#### **4.3.4. Lubricantes**

El lubricante enfría, sella, protege y remueve los contaminantes en el compresor. Siempre se debe drenar todo el lubricante existente antes de ser reemplazado por el nuevo. El cambio de lubricante se debe programar dentro del mantenimiento conservativo con base al manual de fabricante, se debe evitar utilizar lubricantes que no están diseñados para trabajar con el compresor de tornillo ya que esto puede disminuir su vida útil.

#### **4.3.5. Filtros**

Su función es proteger el compresor del desgaste y daños. Se debe revisar y reemplazar los filtros de entrada de aire de manera constante, aproximadamente cada 2 000 horas, este tiempo reduce la contaminación de los componentes y el desgaste de los tornillos, lo que mejora la eficiencia de operación. Un filtro de entrada con un incremento de la caída de presión del 1 % reduce la capacidad del compresor en 1 %. Los filtros de aceite deben ser cambiados aproximadamente cada mil horas.

#### **4.4. Mantenimiento de tuberías**

La tubería de acero galvanizado es muy eficiente en lo que a mantenimiento se refiere, debido a que por sus propiedades químicas es resistente a la corrosión y desgaste cuando no se trabaja con gases directamente corrosivos.

#### **4.4.1. Detección de fugas**

Las fugas en un sistema de distribución de aire comprimido representan grandes pérdidas de energía que a su vez se traducen en pérdidas económicas lo que provoca un bajo rendimiento, es decir, disminuyen los índices de capacidad y eficiencia. Se recomienda hacer una inspección total de los puntos de unión de la tubería y en sus accesorios utilizados como acoples y válvulas, ya que en estos accesorios es donde se producen generalmente las fugas.

##### **4.4.1.1. Mantenimiento de acoples**

Existen diferentes métodos para detectar fugas en acoples, mediante la presurización de la tubería es fácil detectar las fugas mediante pruebas visuales y la aplicación de agua con jabón a determinados tramos de la tubería permite identificar salidas de aire.

Es recomendable mantener los acoplamientos limpios y secos. Se debe evitar impactos directos en los acoplamientos que provoquen daños en los mismos. Es necesario escoger el acople neumático apropiado para el uso requerido ya que utilizar uno de mayor tamaño causa desgaste innecesario. Al utilizar herramientas que producen muchas vibraciones, tales como llaves de impacto o martillos, se recomienda emplear mangueras cortas entre la herramienta y el acoplamiento.

##### **4.4.1.2. Mantenimiento de válvulas**

Antes de realizar cualquier mantenimiento a las válvulas del sistema, es necesario verificar que tanto la válvula como las tuberías no están presurizadas y que la válvula no se encuentre caliente. Se recomienda realizar un cambio de

juntas aproximadamente cada año. Se deben realizar inspecciones periódicas para verificar que no existan fugas y las partes se encuentren con la lubricación adecuada.

#### **4.5. Mantenimiento de drenajes**

Existen dos tipos de purgas en un sistema de aire comprimido: las automáticas y las manuales. En el caso de las purgas automáticas se debe realizar una inspección diaria para cerciorarse de su correcto funcionamiento. Las purgas manuales deben abrirse diariamente para evitar que el condensado se acumule en ellas y provoque los daños.

#### **4.6. Importancia de la limpieza de aire comprimido**

Al igual que el mantenimiento, la limpieza juega un papel importante en lo que al desempeño óptimo de los equipos se refiere. La operación continua de los diferentes procesos en los que el aire comprimido es utilizado puede traducirse en riesgos y/o contaminación cruzada. Una mala limpieza genera la presencia de cuerpos extraños en los equipos que pueden llegar a provocar atascamientos y averías.

El equipo, la mano de obra calificada las medidas de protección necesarias para realizar estos trabajos son indispensables para lograr una limpieza eficiente y libre de accidentes. Deben considerarse andamios certificados, equipo de seguridad para el personal, equipo eléctrico de altura.

## 4.7. Fichas técnicas

En ingeniería, una ficha técnica es un documento en detalle de la descripción de las características de un equipo, maquinaria o material. Generalmente, contienen datos como nombre, características físicas y químicas, el modo de uso o elaboración y especificaciones de mantenimiento y limpieza.

### 4.7.1. Compresores

Figura 26. Ficha técnica compresor Gardner Denver 25 HP

Gardner Denver		COMPRESSOR DATA SHEET	
		Rotary Compressor: Fixed Speed	
MODEL DATA - FOR COMPRESSED AIR			
1	Manufacturer:		
2	Model Number: AS 25 - 160 psig / 460V/3ph/60Hz	Date:	4/11/2014
	<input checked="" type="checkbox"/> Air-cooled <input type="checkbox"/> Water-cooled	Type:	Screw
	<input checked="" type="checkbox"/> Oil-injected <input type="checkbox"/> Oil-free	# of Stages:	1
3*	Rated Capacity at Full Load Operating Pressure <sup>a, c</sup>	102	acfm <sup>b, c</sup>
4	Full Load Operating Pressure <sup>b</sup>	150	psig <sup>b</sup>
5	Maximum Full Flow Operating Pressure <sup>c</sup>	160	psig <sup>c</sup>
6	Drive Motor Nominal Rating	25	hp
7	Drive Motor Nominal Efficiency	91.7	percent
8	Fan Motor Nominal Rating (if applicable)	0.74	hp
9	Fan Motor Nominal Efficiency	76.5	percent
10*	Total Package Input Power at Zero Flow <sup>e</sup>	5.6	kW <sup>e</sup>
11	Total Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>d</sup>	22.6	kW <sup>d</sup>
12*	Specific Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>e</sup>	22.16	kW/100 cfm <sup>d</sup>

\*For models that are tested in the CAGI Performance Verification Program, these items are verified by the third party administrator. Consult CAGI website for a list of participants in the third party verification program: [www.cagi.org](http://www.cagi.org)

NOTES:

- Measured at the discharge terminal point of the compressor package in accordance with ISO 1217, Annex C; ACTM is actual cubic feet per minute at inlet conditions.
- The operating pressure at which the Capacity (Item 3) and Electrical Consumption (Item 11) were measured for this data sheet.
- Maximum pressure attainable at full flow, usually the unload pressure setting for load/no load control or the maximum pressure attainable before capacity control begins. May require additional power.
- Total package input power at other than reported operating points will vary with control strategy.
- Tolerance is specified in ISO 1217, Annex C, as shown in table below:

Member		Volume Flow Rate at specified conditions	Volume Flow Rate	Specific Energy Consumption	No Load / Zero Flow Power
ft <sup>3</sup> /min	lit/min		%	%	
Below 15	Below 15		+/- 7	+/- 3	
15 to 1.5	15 to 50		+/- 6	+/- 3	+/- 10%
1.5 to 15	50 to 500		+/- 5	+/- 6	
Above 15	Above 500		+/- 4	+/- 5	

ROT 030

01/11 R3 This form was developed by the Compressed Air and Gas Institute for the use of its members. CAGI has not independently verified the reported data.

Fuente: Cagi. Gardner Denver. <http://www.gardnerdenver.com/workarea/downloadasset.aspx?id=10983>. Consulta: 2 de septiembre de 2016.

Figura 27. Ficha técnica compresor Kaeser 30 HP

KAESER COMPRESSORS		COMPRESSOR DATA SHEET	
		Rotary Compressor: Fixed Speed	
MODEL DATA - FOR COMPRESSED AIR			
1	Manufacturer: <b>Kaeser Compressors, Inc.</b>		
2	Model Number: <b>AS 30 - 125 psig / 460V/3ph/60Hz</b>	Date: <b>4/11/2014</b>	
	<input checked="" type="checkbox"/> Air-cooled <input type="checkbox"/> Water-cooled <input checked="" type="checkbox"/> Oil-injected <input type="checkbox"/> Oil-free	Type: <b>Screw</b>	
		# of Stages: <b>1</b>	
3*	Rated Capacity at Full Load Operating Pressure <sup>a, c</sup>	<b>141</b>	acfm <sup>a, c</sup>
4	Full Load Operating Pressure <sup>b</sup>	<b>115</b>	psig <sup>b</sup>
5	Maximum Full Flow Operating Pressure <sup>c</sup>	<b>125</b>	psig <sup>c</sup>
6	Drive Motor Nominal Rating	<b>30</b>	hp
7	Drive Motor Nominal Efficiency	<b>91.7</b>	percent
8	Fan Motor Nominal Rating (if applicable)	<b>0.74</b>	hp
9	Fan Motor Nominal Efficiency	<b>76.5</b>	percent
10*	Total Package Input Power at Zero Flow <sup>e</sup>	<b>7.5</b>	kW <sup>e</sup>
11	Total Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>d</sup>	<b>27.7</b>	kW <sup>d</sup>
12*	Specific Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>e</sup>	<b>19.65</b>	kW/100 cfm <sup>e</sup>

\*For models that are tested in the CAGI Performance Verification Program, these items are verified by the third party administrator. Consult CAGI website for a list of participants in the third party verification program: [www.cagi.org](http://www.cagi.org)

NOTES:

- Measured at the discharge terminal point of the compressor package in accordance with ISO 1217, Annex C; ACFM is actual cubic feet per minute at inlet conditions.
- The operating pressure at which the Capacity (Item 3) and Electrical Consumption (Item 11) were measured for this data sheet.
- Maximum pressure attainable at full flow, usually the unload pressure setting for load/no load control or the maximum pressure attainable before capacity control begins. May require additional power.
- Total package input power at other than reported operating points will vary with control strategy.
- Tolerance is specified in ISO 1217, Annex C, as shown in table below:

Member		Volume Flow Rate at specified conditions	Volume Flow Rate	Specific Energy Consumption	No Load / Zero Flow Power
m <sup>3</sup> /min	ft <sup>3</sup> /min		%	%	
Below 0.5	Below 15		+/- 7	+/- 8	+/- 10%
0.5 to 1.5	15 to 50		+/- 6	+/- 7	
1.5 to 15	50 to 500		+/- 5	+/- 6	
Above 15	Above 500		+/- 4	+/- 5	

ROT 030

10/11 R8 This form was developed by the Compressed Air and Gas Institute for the use of its members. CAGI has not independently verified the reported data.

Fuente: Cagi. Kaeser Compressors. *Una revolución de ahorro energético.* <http://us.kaeser.com/Images/AS%2030%20115-125AC-tcm9-539238.pdf>. Consulta:

15 de septiembre de 2016.

Figura 28. Ficha técnica compresor kaeser 10 HP

KAESER COMPRESSORS		COMPRESSOR DATA SHEET		
		Rotary Compressor: Fixed Speed		
MODEL DATA - FOR COMPRESSED AIR				
1	Manufacturer: Kaeser Compressors, Inc.			
2	Model Number: SM 10 - 125 psig / 460V/3ph/60Hz		Date:	12/3/2012
	<input checked="" type="checkbox"/> Air-cooled	<input type="checkbox"/> Water-cooled	Type:	Screw
	<input checked="" type="checkbox"/> Oil-injected	<input type="checkbox"/> Oil-free	# of Stages:	1
3*	Rated Capacity at Full Load Operating Pressure <sup>a, c</sup>		42	acfm <sup>a, c</sup>
4	Full Load Operating Pressure <sup>b</sup>		115	psig <sup>b</sup>
5	Maximum Full Flow Operating Pressure <sup>c</sup>		125	psig <sup>c</sup>
6	Drive Motor Nominal Rating		10	hp
7	Drive Motor Nominal Efficiency		90.2	percent
8	Fan Motor Nominal Rating (if applicable)		-	hp
9	Fan Motor Nominal Efficiency		-	percent
10*	Total Package Input Power at Zero Flow <sup>e</sup>		3.3	kW <sup>e</sup>
11	Total Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>d</sup>		9.9	kW <sup>d</sup>
12*	Specific Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>e</sup>		23.4	kW/100 cfm <sup>e</sup>

\*For models that are tested in the CAGI Performance Verification Program, these items are verified by the third party administrator. Consult CAGI website for a list of participants in the third party verification program: [www.cagi.org](http://www.cagi.org)

NOTES:

- Measured at the discharge terminal point of the compressor package in accordance with ISO 1217, Annex C; ACFM is actual cubic feet per minute at inlet conditions.
- The operating pressure at which the Capacity (Item 3) and Electrical Consumption (Item 11) were measured for this data sheet.
- Maximum pressure attainable at full flow, usually the unload pressure setting for load/no load control or the maximum pressure attainable before capacity control begins. May require additional power.
- Total package input power at other than reported operating points will vary with control strategy.
- Tolerance is specified in ISO 1217, Annex C, as shown in table below:

Volume Flow Rate at specified conditions		Volume Flow Rate	Specific Energy Consumption	No Load / Zero Flow Power
m <sup>3</sup> /min	lit/min	%	%	
Below 0.5	Below 15	+/- 7	+/- 8	+/- 10%
0.5 to 1.5	15 to 50	+/- 6	+/- 7	
1.5 to 15	50 to 500	+/- 5	+/- 6	
Above 15	Above 500	+/- 4	+/- 5	

ROT 030

12/11/81 This form was developed by the Compressed Air and Gas Institute for the use of its members. CAGI has not independently verified the reported data.

Fuente: Cagi. Kaeser Compressors. *Una revolución de ahorro energético.* <http://us.kaeser.com/Images/AS%2030%20115-125AC-tcm9-539238.pdf>. Consulta:

15 de septiembre de 2016.

## 4.7.2. Tubería

Figura 29. Ficha técnica tubería acero galvanizado

### Galvanizada ISO 65 ERW Series I (Estándar) y II (Liviana)

Tubos fabricados con acero de bajo carbono laminado en caliente, con sistema ERW de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal.

Diámetros y espesores según Norma ISO 65.

Extremos Roscados NPT ASME B1.20.1

Recubrimiento Negro Aceitado o Galvanizado.

Longitud 6.40 m. Prueba hidrostática a 700 PSI



**TUBERÍA NEGRA**

Tolerancias - Espesor Mínimo	
Serie I (Estándar)	-12.5% de Espesor Nominal
Serie II (Liviana)	-8% Espesor Nominal

Propiedades Mecánica	
Resistencia a la Tracción	320-520 N/mm <sup>2</sup>
Elongación	15%



**TUBERÍA GALVANIZADA**

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	SERIE I (ESTÁNDAR)		SERIE II (LIVIANA)	
		Espesor Nominal	Peso	Espesor Nominal	Peso
Pulgadas	mm	mm	kg/m	mm	kg/m
1/4	13.5	2.0	0.570	-	-
3/8	17.2	2.0	0.742	-	-
1/2	21.3	2.3	1.080	2.00	0.947
3/4	26.9	2.3	1.390	2.00	1.228
1	33.7	2.9	2.200	2.60	1.980
1 1/4	42.4	2.9	2.820	2.60	2.540
1 1/2	48.3	2.9	3.240	2.65	2.983
2	60.3	3.2	4.490	2.90	4.080
2 1/2	73.0	3.2	5.730	3.00	5.179
3	88.9	3.6	7.550	3.20	6.720
4	114.3	4.0	10.800	3.60	9.750

\*Nota: Todas las medidas son nominales. Los pesos en kg/m son teóricos.

Fuente: ISO 65 ERW Series I. *Tubería negra y galvanizada*. <http://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/804010%20FR%20TUBOS%20iso%2065%20erw.pdf>. Consulta: 2 de octubre de 2016.

### 4.7.3. Accesorios

Figura 30. Ficha técnica secador Kaeser

Technical Specifications					
Model	Rated Capacity* (scfm)	Power Supply (V / Ph / Hz)	Inlet/Outlet Connection (in. NPTF)	Dimensions W x D x H (in.)	Weight (lbs.)
TAH 5	12	115 / 1 / 60 <sup>(1)</sup>	1/2	15¼ x 18¼ x 17½	53
TAH 7	20				53
TAH 10	28				57
TBH 14	42				73
TBH 16	56				84
TBH 23	77		1	18¼ x 20¼ x 21½	101
TCH 27	90				123
TCH 33	110		1¼	26¼ x 26 x 24	146
TCH 36	124				152
TCH 45	159				165
		230 / 1 / 60			

**Selecting the Proper Dryer**

To correct rated capacity for actual operating conditions, refer to "Capacity Correction Factors for Operating Conditions" and "Capacity Correction Factors for Ambient Temperature". Find the capacity correction factors corresponding to the inlet and ambient conditions. Multiply these factors to find the "overall" capacity correction factor, then multiply any dryer's rated capacity by the overall correction factor to determine its capacity at your operating conditions. Capacity correction factors for conditions not shown may be interpolated.

\*Rated capacity: Based on compressed air saturated at 100°F and 100 psig and operation in a 100°F ambient.  
 • Maximum inlet temperature: 140°F • Maximum/minimum ambient air temperature: 122/38°F  
 • Maximum allowable working pressure: 230 psig <sup>(1)</sup> 230/1/60 available by request

**Table 1: Capacity Correction Factors for Operating Conditions**

Pressure (psig)	Temperature (°F)											
	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
60		0.95			0.85	0.76	0.67	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36
80		1.10			0.98	0.88	0.77	0.68	0.60	0.53	0.48	0.42
100		1.25			1.12	1.00	0.88	0.78	0.69	0.61	0.54	0.48
120		1.32			1.18	1.06	0.93	0.82	0.73	0.64	0.57	0.50
140		1.38			1.24	1.11	0.97	0.86	0.76	0.67	0.60	0.53
160		1.45			1.29	1.16	1.02	0.90	0.80	0.70	0.62	0.55
180		1.50			1.34	1.20	1.05	0.93	0.82	0.73	0.65	0.57
200		1.54			1.38	1.23	1.08	0.96	0.85	0.75	0.67	0.59
230		1.58			1.42	1.26	1.11	0.99	0.87	0.77	0.69	0.60

**Table 2: Capacity Correction Factors for Ambient Temperature**

Factor	Ambient Air Temperature (°F)							
	75	80	85	90	95	100	105	110
			1.09		1.05	1.00	0.96	0.92

*Specifications are subject to change without notice.*

Fuente: Cagi. Kaeser Compressors. *Una revolución de ahorro energético.*

<http://us.kaeser.com/Images/AS%2030%20115-125AC-tcm9-539238.pdf>. Consulta: 15 de septiembre de 2016.

Figura 31. Ficha técnica filtros kaeser

### Especificaciones Técnicas

**Tipo de Filtro**

KFS - Filtro Separador Kaeser (camisa reemplazable)  
 KPF - Filtro Kaeser para Partículas (elemento con malla sobrepuesta)  
 KOR - Filtro Kaeser para Remoción de Aceite (Aplicaciones Estándar - elemento rojo)  
 KOX - Filtro Kaeser eXtra-Fino para Remoción de Aceite (Aplicaciones Críticas - elemento azul)  
 KVF - Filtro Kaeser para Absorción de Vapores (elemento verde)

Modelo	Flujo a 100 psig (cm)	Conexión	Características Estándar de los Filtros					Presión Máj. de Trabajo (psig)	Dimensiones Ancho x Alto (pulgadas)	Peso (lbs)
			KFS	KPF	KOR	KOX	KVF			
<b>Carcasa Tipo Modular</b>										
(Tipo de Filtro) - 20	20	½" NPTF	1	1	1	1	6	250	4¼ x 11¼	8
(Tipo de Filtro) - 35	35	½" NPTF	1	1	1	1	6	250	4¼ x 11¼	8½
(Tipo de Filtro) - 60	60	½" NPTF	1	1	1	1	6	250	4¼ x 13¼	8½
(Tipo de Filtro) - 100	100	1" NPTF	2	2	2	2	6	250	5¼ x 15¼	9½
(Tipo de Filtro) - 170	170	1" NPTF	2	2	2	2	6	250	5¼ x 19¾	10½
(Tipo de Filtro) - 250	250	1½" NPTF	4	2	2	2	6	250	6¾ x 23	10¼
(Tipo de Filtro) - 375	375	1½" NPTF	4	2	2	2	6	250	6¾ x 27½	11½
(Tipo de Filtro) - 485.2	485	2" NPTF	5	3	3	3	7	250	7¾ x 31¼	28
(Tipo de Filtro) - 485.2.5	485	2¼" NPTF	5	3	3	3	7	250	7¾ x 31¼	28
(Tipo de Filtro) - 625	625	2¼" NPTF	5	3	3	3	7	250	7¾ x 37	33
(Tipo de Filtro) - 780	780	2½" NPTF	5	3	3	3	7	250	7¾ x 43	38
<b>Recipiente a Presión</b>										
(Tipo de Filtro) - 1000P	1,000	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16 x 48	91
(Tipo de Filtro) - 1250P	1,250	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16 x 48	91
(Tipo de Filtro) - 1875P	1,875	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16¼ x 49	120
(Tipo de Filtro) - 2500P	2,500	4" Brida	8	8	8	8	9	225	20 x 52¼	179
(Tipo de Filtro) - 3125P	3,125	4" Brida	8	8	8	8	9	225	20 x 52¼	182
(Tipo de Filtro) - 5000P	5,000	6" Brida	8	8	8	8	9	225	24 x 54¼	271
(Tipo de Filtro) - 6875P	6,875	6" Brida	8	8	8	8	9	225	28 x 62¼	518
(Tipo de Filtro) - 8750P	8,750	6" Brida	8	8	8	8	9	225	28 x 62¼	527
(Tipo de Filtro) - 11875P	11,875	8" Brida	8	8	8	8	9	225	22 x 69¼	709
(Tipo de Filtro) - 16250P	16,250	8" Brida	8	8	8	8	9	225	39 x 68	918
(Tipo de Filtro) - 21250P	21,250	10" Brida	8	8	8	8	9	225	46 x 71	1412

- 1 - Drenaje Interno Automático, Indicador de Presión Diferencial Tipo Regleta, Indicador de Nivel de Líquido.
- 2 - Drenaje Interno Automático, Manómetro de Presión Diferencial, Indicador de Nivel de Líquido.
- 3 - Drenaje Interno Automático, Manómetro de Presión Diferencial.
- 4 - Drenaje Manual, Manómetro de Presión Diferencial, Indicador de Nivel de Líquido (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 5 - Drenaje Manual, Manómetro de Presión Diferencial (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 6 - Drenaje Manual, Indicador de Nivel de Líquidos (no requiere drenaje).
- 7 - Drenaje Manual, (no requiere drenaje).
- 8 - Tapón para Drenado, Manómetro de Presión Diferencial y Kit de Instalación (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 9 - Tapón para Drenado (se recomienda la instalación de un drenaje manual).

**Dimensionamiento**

Para establecer la capacidad máxima de flujo del filtro a presiones diferentes de 100 psig, multiplique el flujo nominal por el Factor de Corrección correspondiente a la presión mínima a la entrada del filtro. No seleccione filtros con base al tamaño de la tubería. Utilice la capacidad de flujo y la presión de operación.

Presión Mínima de Admisión (psig)	20	30	40	60	80	100	120	150	200	250
Factor de Corrección	0.30	0.39	0.48	0.65	0.82	1.00	1.17	1.43	1.87	2.31

Nota: Temperatura máxima de aire de entrada 150°F. Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.

Fuente: Cagi. Kaeser Compressors. *Una revolución de ahorro energético.*  
<http://us.kaeser.com/Images/AS%2030%20115-125AC-tcm9-539238.pdf>. Consulta: 15 de septiembre de 2016.

#### **4.8. Formatos de registro de mantenimiento**

Las hojas de registro son formatos estructurados que ayudan a recopilar información de manera fácil y concisa; son creadas con base en las necesidades y características de los datos que se quiere recopilar, medir o evaluar. Son las herramientas bases para la recolección y el análisis de datos que permiten realizar seguimientos en el proceso de resolución de problemas. Entre algunas de las ventajas al utilizar formatos de registro se pueden mencionar:

- Proporcionan datos fáciles de comprender y que son obtenidos mediante un proceso simple y eficiente.
- Pueden ser aplicado a cualquier área de la organización.
- Proporciona registros históricos, que ayudan a percibir los cambios en el tiempo.

La elaboración de las hojas de registro se lleva a cabo mediante el seguimiento de una serie de pasos que aseguran su correcta elaboración y, por lo tanto, su eficiencia. Los pasos para la elaboración son los siguientes:

- Definir la información: la información debe ser concreta y específica; mediante la formulación de preguntas se determina los datos a obtener y como será utilizada la información.
- Definir las herramientas apropiadas para el análisis: las herramientas para el análisis posterior de los datos recopilados son determinadas con base en el tipo de datos ya que cada una de estas herramientas

deanálisis estadístico se acopla de mejor manera a cierto volumen de datos, exactitud y otras cualidades de variable.

- Establecer el punto de recogida de datos: el objetivo de este paso es identificar un punto del proceso en estudio donde se pudiesen recoger todos los datos necesarios sin introducir perturbaciones en el propio proceso. En el caso específico de Naturaceites, el punto de recogida de datos es toda el área ocupada por el sistema de generación y distribución de aire comprimido.
- Elegir el personal: La obtención de datos debe ser realizada por personas con un acceso fácil y directo al punto de recogida de datos. El grupo de trabajo analizará tanto las actividades necesarias para la recogida de datos como su asignación de responsabilidades.
- Diseño del formato de registro: al diseñar una hoja de registro se debe buscar que la anotación de datos sea sencilla y que el uso del formato sea intuitivo para el personal.
- Informar y capacitar al personal: es importante asegurarse de que el personal conoce y entiende el objetivo de la recopilación de datos, lo que se le pide en cada parte de la hoja de registro y la importancia de que los datos sean verídicos y no exista sesgo.



Figura 33. **Formato de requerimiento de equipo**

<b>NATURACEITES S.A.</b>		<b>Registro de mantenimiento</b>			
		Registro:		R04-GOGG-02	
<b>Equipo</b> :	Compresor	<b>Código:</b>	C-1001	<b>Área:</b>	Compresores
<b>FOTO DEL EQUIPO</b>		<b>Resumen</b>			
		<b>Observaciones</b>			
<b>Seguridad</b>					

Fuente: elaboración propia.





## **5. SEGUIMIENTO**

### **5.1. Comparación de resultados**

La comparación de resultados es necesaria como parte de la evaluación expost que permite medir el impacto la implementación del proyecto. Se debe determinar en qué medida el proyecto cumplió con los objetivos o en qué medida implica un cambio significativo perdurable y sostenible en el tiempo para los beneficiarios.

#### **5.1.1. Económico**

Actualmente, el costo anual total por pérdida es de Q 70 070,06 con un porcentaje de pérdida de 28,48 %. Al implementar la mejora, el costo total por pérdida es de Q47 164,42 con un porcentaje de pérdida de 19,17 %.

Por lo tanto, al implementar la propuesta de mejora se tiene proyectado una reducción de costos a Q22 905,64 que, comparado con la situación actual, representa una disminución del 13,94 % de los costos operativos generados por el sistema de aire comprimido.

#### **5.1.2. Operativo**

Desde el punto de vista operativo, la estandarización de las secciones seleccionadas de la tubería representa una mejora en cuanto a la caída de presión ya que se disminuye la utilización de reducciones y otros accesorios;

así mismo, se mantiene un flujo constante del aire por lo que la caída de presión generada por fricción se reduce.

## **5.2. Supervisiones periódicas**

La supervisión es inspeccionar y controlar la realización correcta de un trabajo o actividad que se lleva a cabo. El objetivo primordial y básico de la supervisión es que las actividades o trabajos que se desplieguen sean ejecutados de manera satisfactoria. Las supervisiones constantes del sistema de aire comprimido permiten recopilar datos que proporcionan información importante que ayudan a la toma de decisiones. El objetivo principal de la supervisión del sistema de aire comprimido es detectar fallas prematuras, reducir de costos, programar tareas de mantenimiento y la disminución de paros de producción.

## **5.3. Análisis de lubricantes en compresores**

El análisis de aceites consiste en la realización de pruebas físico-químicas en el aceite con el fin de determinar si el lubricante se encuentra en condiciones de ser empleado, o si debe ser cambiado. Es una de las técnicas simples que más información proporciona al área de mantenimiento: condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y, finalmente, su desgaste y vida útil.

Los análisis de lubricantes programados periódicamente permiten identificar problemas antes de que interfieran en la efectividad de los equipos. La posibilidad de un desgaste del compresor, un fallo del sistema o un imprevisto en el mantenimiento puede verse considerablemente reducida

mediante la realización de análisis periódicos e inspecciones del estado de los aceites lubricantes.

Existe toda una gama de análisis aplicados a los lubricantes en compresores que están normados internacionalmente; a continuación, se mencionan los más conocidos:

- ASTM D 4377: método de prueba estándar para agua en crudo por valoración de potenciométrica Karl Fischer.
- ASTM D 974: método de prueba estándar para número ácido y básico por valoración de color-indicador.
- ASTM D 445: método de prueba estándar por viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos.
- ASTM D 518: método de prueba estándar por determinación de elementos aditivos, metales de desgaste, y contaminación en aceites lubricantes usados por espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente.
- ASTM D 1500: método de prueba estándar para color astm de productos del petróleo.
- Aceite mineral en aceite POE/AB.

Se recomienda realizar las pruebas de lubricantes en compresores al menos una vez por año para llevar un resumen histórico que es útil para

identificar y localizar cualquier tendencia de desgaste y qué derivaciones de esas tendencias son señales de alarma.

#### **5.4. Calidad de aire comprimido**

Cuando se trabaja con aire comprimido en la industria de alimentos, es necesario tener la precaución adecuada para asegurar la inocuidad en el proceso ya que el aire comprimido no es puro por naturaleza; contiene concentraciones de componentes sólidos en forma de polvo y al enfriarse se condensa el agua en forma de humedad. Por lo tanto, para obtener productos alimenticios de alta calidad en beneficio de fabricantes y consumidores, es importante disponer de aire comprimido de la calidad apropiada en cada caso.

En la industria alimentaria y de bebidas, el aire comprimido debe satisfacer las más estrictas exigencias de calidad. Su cumplimiento es de vital importancia para garantizar la mayor calidad posible de los alimentos y, por lo tanto, para proteger la salud de los consumidores. Las normas internacionales tienen precisamente esa finalidad.

La norma ISO 8573-1:2010, recoge los requisitos de calidad de aire comprimido y determina qué cantidad máxima de contaminantes y tamaños de partículas puede contener cada clase correspondiente. Al mismo tiempo, las normas también definen estándares comprensibles y transparentes, lo que permite que los fabricantes que las cumplen puedan acceder a los mercados de todo el mundo. Por este motivo, una preparación del aire comprimido según la norma y energéticamente eficiente para soluciones de automatización exige considerar diferentes parámetros como las clases de calidad para partículas sólidas, contenido de agua y contenido total de aceite.

Al igual que las pruebas en lubricantes de los compresores, se recomienda realizar las pruebas de calidad del aire en compresores al menos una vez por año.

## **5.5. Capacitación del personal responsable**

La capacitación del personal es una actividad que busca mejorar el conocimiento y habilidades de los colaboradores que realizan las tareas de mantenimiento. La capacitación es la forma más eficaz de protección del trabajador, en primer lugar, porque si se produce una vacante en la organización, puede ser cubierta internamente por promoción.

En todas las industrias existen diferentes riesgos dentro de las actividades laborales que realizan los colaboradores, estos riesgos generalmente son causados por condiciones inseguras o acciones inseguras. Es indispensable capacitar al personal que va está en contacto directo con el aire comprimido para que cumplan con las medidas preventivas establecidas a fin de lograr la reducción o minimización de estos.

### **5.5.1. Precauciones antes de utilizar el sistema neumático**

- Comprobar si la presión de la línea, o del compresor, es compatible con los elementos o herramienta: se podrá recurrir para ello, por ejemplo, a la placa de características del útil y al manómetro de la red de alimentación.
- No se debe poner nunca en funcionamiento una herramienta o equipo que no disponga de placa de características, o esta esté borrada.

- Si se dispone de un regulador de presión, se comprobará que está en el valor óptimo, desde el punto de vista de la seguridad y eficacia del equipo.
- Se comprobará el buen estado de la herramienta, de la manguera de conexión y sus conexiones; además, de verificar que la longitud de la manguera es suficiente y adecuada.
- Cuando se conecte a una red general, comprobar que dicha red es efectivamente de aire comprimido y no de otro gas. En caso de duda no efectuar la conexión sin antes comprobarlo.
- Comprobar el buen funcionamiento de grifos y válvulas. Tener en cuenta que la alimentación de aire comprimido deberá poder ser cortada rápidamente en caso de emergencia.
- Comprobar que se dispone de todos los accesorios necesarios para realizar el trabajo.
- Si se han de emplear mangueras que deban descansar en el suelo, se deberá eliminar la posibilidad de que sean pisadas por cualquier equipo móvil, por ejemplo, carretillas, tampoco, motivo de riesgo de caída para las personas.
- Se dispondrá de la ropa de trabajo adecuada, y de las protecciones personales que sean adecuadas al trabajo. Si se emplean guantes, comprobar que no dificultan o interfieren en las operaciones de mando de las herramientas.

### **5.5.2. Precauciones durante la utilización del sistema neumático**

- Si la manguera de la herramienta no permite aproximarse al objeto, no tirar de la manguera, aproximar el objeto si es posible o acoplar otra manguera. Probar el conjunto antes de su utilización.
- Antes de efectuar un cambio de accesorio, se cortará la alimentación de aire comprimido.
- Antes de trabajar sobre piezas, asegurarse que están suficientemente sujetas.
- Comprobar que la posición adoptada para el trabajo es correcta; téngase en cuenta que la reacción de la herramienta puede producir desequilibrio y, como consecuencia, su balanceo o rebote de la misma.
- Comprobar que la manguera de alimentación de aire comprimido se encuentra alejada de la zona de trabajo y, por lo tanto, no puede ser afectada por el útil.

### **5.5.3. Precauciones al finalizar la utilización del sistema de aire comprimido**

- Cortar la alimentación de aire comprimido y purgar la conducción antes de desenganchar el útil.
- Guardar la herramienta y sus accesorios en el lugar o caja apropiados.
- Guardar la manguera en sitio adecuado, al abrigo de toda abrasión, golpes, etc.



## CONCLUSIONES

1. El sistema de generación y distribución de aire comprimido se encuentra operando en condiciones aceptables ya que no posee fugas y la maquinaria y equipo está en buen estado; sin embargo, hay algunas oportunidades de mejora que se pueden aprovechar para optimizar los recursos y mejorar el desempeño en general.
2. Las pérdidas de presión en el sistema de aire comprimido ascienden a un 39,4 %, porcentaje que se encuentra muy por encima del rango de pérdida admisible.
3. El monto al que equivalen las pérdidas que tiene la red de aire comprimido ascienden a Q70 070,06 anuales.
4. Al aplicar la propuesta de mejora que consiste en la estandarización del diámetro de la tubería, pasando de  $\frac{3}{4}$ " a 1", se obtiene un porcentaje de pérdida de presión de 24,86 % que representa una mejora de 14,54 % respecto a la situación actual, porcentaje que aún no cumple con la pérdida admisible sin embargo económicamente se obtiene un ahorro de Q27 290.
5. Los formatos de registro de mantenimiento son una herramienta muy útil que permiten llevar un control adecuado de los mantenimientos correctivos y preventivos realizados por los colaboradores del departamento.



## RECOMENDACIONES

1. Para realizar los diferentes mantenimientos de manera adecuada, es necesario planificarlos con la retroalimentación de producción para no interferir con los planes del departamento.
2. Si el monto de inversión para el proyecto es mayor del presupuesto asignado por la empresa, se recomienda esperar a que se asignen los fondos necesarios para llevar a cabo el proyecto por completo ya que el cambio de tubería por secciones pequeñas no es factible por las interrupciones a producción y materiales al por menor.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER, ROYO E. *Aire comprimido. Teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Gustavo Gili S.A, 1977. 224 p.
2. Ingersoll Rand. *Manual del profesional del aire comprimido*. Madrid España: Company Limited, 1992. 16 p.
3. Majumdar, S.R. *Aire comprimido: sistemas neumáticos, principios y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1998. 299 p.
4. RICHARD, W. Greene. *Compresores, selección, uso y mantenimiento*. México: Mc Graw Hill, 1990. 292 p.
5. SMITH, Edward H. *Manual del ingeniero mecánico*. México: McGraw-Hill, 1988. 621 p.

