



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

**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE
SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN**

Estuardo Adolfo Barrientos Mejía

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE
SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ESTUARDO ADOLFO BARRIENTOS MEJÍA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO 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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
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

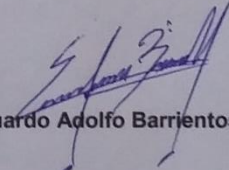
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de noviembre de 2014.


Estuardo Adolfo Barrientos Mejía

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



CULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 24 de mayo de 2016
Ref.EPS.DOC.346.05.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

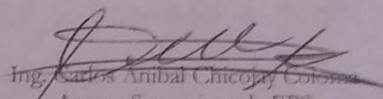
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Estuardo Adolfo Barrientos Mejía** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201020132, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE CÓMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

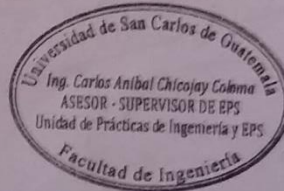
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicoy Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 24 de mayo de 2016.
REF:EPS/D.283.05.16.

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

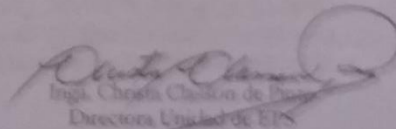
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIERIA PANTALEÓN**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Estuardo Adolfo Barrientos Mejía** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Amihíl Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Chelón de Pineda
Directora Unidad de EPS

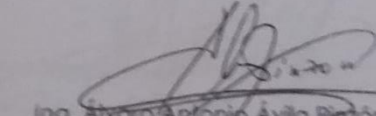
CC:IP/ta



Ref.E.I.M.294.2016

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación de EPS titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN**, desarrollado por el estudiante **Estuardo Adolfo Barrientos Mejía**, carné 2010-20132 recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Álvaro Alfonso Ávila Pinzón
Coordinador Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2016

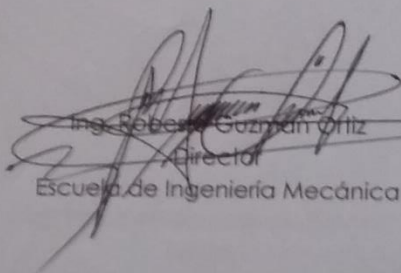


Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.072.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN** del estudiante **Estuardo Adolfo Barrientos Mejía**, CUI No. 2059-03479-0101, Reg. Académico No. 2010-20132 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2017
/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

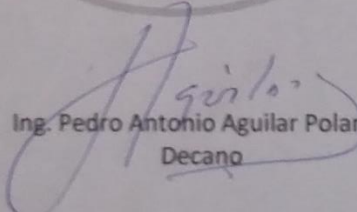


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 089.2017

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, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE SERVICIO RÁPIDO DE INGENIO PANTALEÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Estuardo Adolfo Barrientos Mejía**, 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, febrero de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por la sabiduría dada para alcanzar este logro; porque todo lo que tengo es gracias a Él.

Mis padres

Vilda Mejía de Barrientos y Adolfo Barrientos, porque sin su amor y apoyo incondicional nada de esto sería posible; por confiar y creer en mí sin importar mis errores.

Mi hermana y cuñado

Laura Barrientos y Alejandro Aguilar, por su amor y por ser un gran apoyo en mi carrera y en la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una casa de estudios en la que se me formó como profesional y persona.
Facultad de Ingeniería	Por su excelencia académica.
Mis amigos de la Facultad	Por el apoyo, palabras y momentos vividos.
Ingenio Pantaleón	Por confiar en mí y darme la oportunidad de desarrollar este proyecto.
Mis tíos	Por el apoyo y los consejos brindados.
Mis primos	Por el cariño y el apoyo en mi carrera.
Mis abuelas y abuelos	Por sus oraciones y consejos, (q. e. p. d.).
Mis amigos	Por el cariño y por alentarme a seguir siempre adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Historia	1
1.1.3. Propósito, visión y valores	3
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Definiciones básicas	4
1.3.1. Unidades físicas	5
1.3.1.1. Presión	6
1.3.1.2. Temperatura	6
1.3.1.3. Capacidad térmica	6
1.3.1.4. Trabajo	7
1.3.1.5. Potencia	7
1.3.1.6. Caudal volumétrico	7
1.4. Descripción del servicio rápido	8
1.4.1. Descripción de trabajos en llantera	8
1.4.2. Descripción de trabajos en área de cabezales	9

1.4.3.	Descripción de servicio rápido de equipos de arrastre.....	9
1.5.	Ahorro de energía	10
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	15
2.1.	Características técnicas de la maquinaria	15
2.1.1.	Tipos de compresores	15
2.1.1.1.	Compresión de desplazamiento positivo	16
2.1.1.1.1.	Compresor de pistón ..	16
2.1.1.1.2.	Compresor de diafragma.....	17
2.1.1.1.3.	Compresores de Tornillo.....	17
2.1.1.1.4.	Compresores de uña ..	19
2.1.1.1.5.	Compresores de scroll.....	20
2.1.1.1.6.	Compresores de paletas.....	20
2.1.1.2.	Compresores dinámicos	21
2.1.1.2.1.	Compresores centrífugos.....	21
2.1.1.2.2.	Compresores axiales ..	22
2.1.2.	Herramientas neumáticas.....	23
2.1.2.1.	Pistola de impacto	23
2.1.2.2.	Tricket neumático	24
2.2.	Sistema de aire comprimido.....	25
2.2.1.	Tratamiento de aire	25
2.2.1.1.	Secadores	25

	2.2.1.2.	Filtro.....	26
	2.2.1.3.	Lubricador.....	27
	2.2.1.4.	Almacenamiento de aire comprimido	28
	2.2.1.5.	Extracción de condensado	29
	2.2.2.	Distribución de aire comprimido	29
	2.2.2.1.	Circuito cerrado.....	30
	2.2.2.2.	Circuito abierto.....	31
	2.2.2.3.	Circuito mixto	31
	2.2.3.	Tubería	32
2.3.		Fallas en la red de aire comprimido actual.....	34
2.4.		Creación de la red de aire comprimido	40
	2.4.1.	Estudio del área.....	40
	2.4.2.	Rediseño de la red de aire comprimido.....	44
	2.4.2.1.	Requerimientos de la red.	46
	2.4.2.2.	Cálculo para el anillo principal.....	46
	2.4.2.2.1.	Flujo volumétrico de anillo principal.	47
	2.4.2.2.2.	Longitud nominal de anillo principal.	47
	2.4.2.2.3.	Caída de presión en anillo principal.	52
	2.4.2.3.	Cálculo para ramificaciones.	54
	2.4.2.3.1.	Flujo volumétrico de ramificaciones.	54
	2.4.2.3.2.	Longitud nominal de ramificaciones.	54
	2.4.2.3.3.	Caída de presión en ramificaciones.	57

3.	FASE DE DOCENCIA	61
3.1.	Planificación.....	61
3.2.	Introducción al tema de aire comprimido.....	62
3.3.	Importancia del buen manejo del aire comprimido.	62
3.4.	Importancia de eliminar fugas de aire.....	64
3.5.	Presentación de mejoras.....	64
	3.5.1. Datos técnicos del compresor instalado en nueva red.	69
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arrastre de caña en los inicios de Ingenio Pantaleón.....	2
2.	Tipos de compresores.....	15
3.	Compresor de pistón.....	16
4.	Compresor de diafragma.....	17
5.	Compresor de tornillo.....	18
6.	Compresor de uña.....	19
7.	Compresor de scroll.....	20
8.	Compresor de paletas.....	21
9.	Compresor centrífugo.....	22
10.	Pistola neumática de impacto.....	23
11.	Pistola neumática de impacto.....	24
12.	Tricket neumático.....	24
13.	Secador de aire.....	26
14.	Filtro de aire.....	27
15.	Lubricador de aire.....	28
16.	Circuito cerrado.....	30
17.	Circuito abierto.....	31
18.	Circuito mixto.....	32
19.	Tubería de PVR.....	33
20.	Tubería de aluminio.....	33
21.	Tubería de hierro galvanizado.....	34
22.	Mala reparación de fuga.....	35
23.	Posición incorrecta de las purgas.....	36

24.	Diseño antiguo del sistema.....	37
25.	Ramificaciones incorrectas	37
26.	Compresor red antigua	38
27.	Gráfica PSI vs Hora compresor antiguo.....	39
28.	Ejemplo de gráfica	41
29.	Presión promedio durante la semana de prueba	42
30.	Demanda de aire durante la semana de prueba Kaeser.....	43
31.	Área de servicio rápido	44
32.	Plano de dimensiones del área.....	45
33.	Diagrama del rediseño de la red de aire comprimido	46
34.	Accesorios anillo principal (codos 90°).....	50
35.	Accesorios anillo principal (Tes)	51
36.	Diseño de ramificaciones.....	55
37.	¿Qué es el aire comprimido?	62
38.	Capacitación del personal.....	63
39.	Cuarto de compresor	66
40.	Unidades FRL y conexiones generales.....	67
41.	Derivación cuello de ganso.....	68
42.	Datos técnicos del compresor Kaeser SK15-Aircenter.....	69

TABLAS

I.	Caudales de fuga referidos a diferentes diámetros de orificios.	11
II.	Costos por fugas en función del diámetro.....	11
III.	Costos por fugas para el área de servicio rápido.	12
IV.	Ahorro energético al eliminar las fugas	13
V.	Requerimientos para dimensionamiento de la red.	46
VI.	Longitudes equivalentes en diámetros de tuberías.	49
VII.	Cronograma de presentación de docencia	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
d	Diámetro
°C	Grado Celsius
J	Joule
kW	Kilo Watts
kg	Kilogramo
Psi	Libras sobre pulgada cuadrada
L	Longitud
m	Metro
m³/min	Metro cúbico por minuto
min	Minuto
Pa	Pascal
CFM	Pies cúbicos por minuto
P	Presión
Pulg	Pulgadas
S	Segundo

GLOSARIO

Aire	Sustancia gaseosa, transparente, inodora e insípida que envuelve la tierra y forma la atmósfera.
Caudal	Cantidad de aire comprimido transportado por unidad de tiempo a través de la red de distribución.
Cero absoluto	Es la temperatura teórica más baja posible y se caracteriza por la total ausencia de calor.
CFM	Utilizado para medir caudal en un sistema de aire comprimido, pies cúbicos por minuto.
Codo	Trozo de tubo que está doblado en ángulo o en arco y sirve para variar la dirección de una tubería o cañería.
Compresor	Aparato que sirve para reducir a menor volumen un líquido o un gas por medio de la presión.
Entropía	Magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema.
FRL	Abreviatura que se da al conjunto de filtro, regulador y lubricador de un sistema de aire comprimido.

Humedad	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
Lubricante	Sustancia grasa o aceitosa que se aplica a las piezas de un engranaje para que el rozamiento sea menor o más suave.
Red	Conjunto de cables, tuberías, vías de comunicación u otras cosas largas y finas que se encuentran o cruzan en numerosos puntos permitiendo algún tipo de transmisión, intercambio o movimiento de algo a través de ellos.
Rentable	Que produce un beneficio que compensa la inversión o el esfuerzo que se ha hecho.
Secador	Aparato o máquina eléctrica para secar.
Termodinámica	Parte de la física que estudia la acción mecánica del calor y las restantes formas de energía.
Válvula	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato o instrumento, gracias a un mecanismo, a diferencias de presión, etc.

RESUMEN

Este informe final se basa en el estudio del rediseño de la red de aire comprimido del área de servicio rápido del Ingenio Pantaleón, lugar en el que se llevó a cabo el Ejercicio Profesional Supervisado.

En la actual red de aire comprimido se presentan muchos problemas por falta de mantenimiento o por un mal mantenimiento, este informe consta de tres capítulos: El capítulo de fase de investigación tiene como finalidad comprender las bases teóricas que influyen en la generación y distribución del aire comprimido; en el segundo capítulo, Fase de Servicio Técnico Profesional, se presentan los estudios realizados y las recomendaciones para el rediseño de la red de aire comprimido, presentando tablas, gráficas, figuras, entre otros, todo esto con la finalidad de poder proponer un rediseño rentable a la empresa; en el tercer capítulo se presentan los resultados de la fase de docencia impartida al personal del área.

OBJETIVOS

General

Optimizar la red de aire comprimido en el área de servicio rápido para garantizar un buen trabajo en dicha área de Pantaleón, S.A.

Específicos

1. Rediseñar la red de aire comprimido.
2. Analizar si el compresor es suficiente para abastecer la nueva red de aire comprimido.
3. Realizar un estudio en ahorro de energía al implementar la nueva red de aire comprimido.
4. Proporcionar una solución rentable para la empresa.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una de las formas de energía más utilizadas en la industria, como cualquier otra tiene un costo para generarla; no es gratis como mucha gente piensa, por lo que hacer un buen uso del aire es beneficioso para la empresa. La red de distribución muchas veces se ve afectada por el ambiente, mal mantenimiento, ausencia de mantenimiento o por mal uso de la misma.

El área de servicio rápido es de mucha importancia en zafra, ya que es allí en donde se llevan a cabo los mantenimientos rápidos de equipo de arrastre de caña y cabezales, sabiendo que sin caña no hay producción de azúcar, no es necesario mencionar que estos equipos deben estar en óptimas condiciones, por lo que el uso de aire comprimido es prioritario en esta área, usándose para calibrar llantas y para uso de herramientas neumáticas.

Al tener una red de aire comprimido en mal estado, atrasa los mantenimientos de los equipos de arrastre de caña y cabezales. Tomando en cuenta las necesidades de dicha área se presenta a continuación la propuesta para la mejora de la red de aire comprimido, presentando resultados de estudios realizados, todos estos con el fin de diseñar una red adecuada para satisfacer las crecientes necesidades de la empresa.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

A continuación, se realiza una reseña histórica del Ingenio Pantaleón, para conocer la ubicación y la planeación estratégica.

1.1.1. Ubicación

La costa sur es conocida por su gran producción de azúcar, dado que la región tiene las condiciones adecuadas para poder cultivar la caña de azúcar. Ingenio Pantaleón está ubicado estratégicamente en km 86, Carretera al Pacífico, siendo un punto central a sus fincas, facilitando de esta manera el transporte de caña desde las fincas hacia el ingenio, situado también al costado de un río, sabiendo que el agua es el recurso natural indispensable en toda industria.

1.1.2. Historia

El 20 de agosto de 1849, don Manuel María Herrera, adquirió la finca Pantaleón. A base de grandes esfuerzos y una gran visión, Pantaleón se diversificó, transformándose de una hacienda ganadera, a una finca de caña y productora de panela y, finalmente, convirtiéndose en un ingenio azucarero. En 1883 muere don Manuel María Herrera y sus herederos fundan Herrera y Compañía y en el año 1973 cambian el nombre de la empresa a Pantaleón, Sociedad Anónima.

El ingenio Pantaleón alcanzó el liderazgo de la industria azucarera de Guatemala en 1976, convirtiéndose en el ingenio de mayor volumen de producción del área centroamericana. En 1984 asumió la administración y el control de las operaciones del Ingenio Concepción, ocupando un importante lugar en cuanto al volumen de producción en el país. En el mes de junio de 1998, continuando con la estrategia de crecimiento y diversificación geográfica, la organización adquirió el Ingenio Monte Rosa, localizado en la zona occidental de la República de Nicaragua. A finales del año 2000 se integran los tres ingenios y deciden participar como subsidiarias de la organización conocida como Pantaleón.

Figura 1. **Arrastre de caña en los inicios de Ingenio Pantaleón**



Fuente: acerca de Pantaleón. www.pantaleon.com/Historia. Consulta: 25 de febrero de 2015.

En el 2006 se asume otro gran reto en la estrategia de crecimiento al incursionar en Brasil, en una alianza estratégica con el grupo brasileño Unialco y el grupo Manuelita de Colombia, para la construcción y operación del ingenio sucro-alcoholero Vale do Paraná, localizado en Suzanápolis Oeste del estado de São Paulo, Brasil.

En el mes de agosto de 2008, Pantaleón obtiene la administración del Ingenio La Grecia, ubicado en Choluteca, Honduras. Esta nueva alianza contribuirá a afianzar el liderazgo en la industria azucarera en América Latina, cumplir con la visión a largo plazo de la organización y permitir combinar fortalezas y cooperar con el desarrollo sustentable de la industria en Honduras.

En los últimos 36 años, Pantaleón ha mantenido un desarrollo acelerado, construyendo modernas plantas y realizando inversiones productivas en el agro y la industria, con tecnología de punta y procesos innovadores que le han permitido ser reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo en el mundo.

1.1.3. Propósito, visión y valores

El propósito de Pantaleón es: promover el desarrollo, transformando recursos responsablemente.

Siendo su visión: en el año 2030, seremos una de las 10 organizaciones más importantes del mundo en la industria azucarera y productos relacionados.

Los valores de Pantaleón están comprendidos en:

- Integridad y honestidad
- Mejora y cambio permanente con visión a largo plazo
- Respeto por las personas relacionadas y compromiso por su éxito

Las iniciativas estratégicas que permitirán alcanzar nuestra visión son:

- Crecimiento de la molienda
- Desarrollo de adyacencias
- Efectividad operacional

- Innovación y tecnología
- Desarrollo del capital humano
- Responsabilidad social empresarial

1.2. Descripción del problema

En ingenio Pantaleón es prioridad tener la mayor cantidad de equipos transportando cañas desde las fincas cañeras hasta el ingenio, por lo que en zafra se habilita el área de servicio rápido. Tal como su nombre lo indica en esta área se les da un servicio rápido a todas las unidades transportadoras de caña, en dicha área se necesita que el trabajo sea lo más eficiente posible, permitiendo de esta manera trabajar la mayor cantidad de unidades posible, evitando atrasos en el transporte; en el área se cuenta con varios servicios como, oxígeno, acetileno, energía eléctrica y aire comprimido. El problema a tratar en este proyecto es en el servicio de aire comprimido; actualmente se puede observar un pobre diseño de la red, teniendo demasiadas derivaciones y cambios de dirección innecesarios, debido a que en el área son utilizadas herramientas neumáticas, tales como pistolas de impacto, *trickets* hidro-neumáticos, entre otros. También es utilizado el servicio de aire comprimido para calibración de las llantas de todos los equipos que pasan por el área. Por lo que realmente es importante realizar una mejora a la red de aire comprimido.

1.3. Definiciones básicas

Existe el paradigma que el aire comprimido es una fuente de energía inagotable ya que el aire en el ambiente es ilimitado y puede ser comprimido una cantidad indefinida de veces, pero se debe tener en cuenta que para poder comprimir el aire se necesita de otro tipo de energía; habiendo dicho esto se debe saber que el aire comprimido no es gratis como muchos piensan, por lo

tanto un buen manejo del mismo reducirá costos y aumentará la rentabilidad del servicio prestado.

El aire comprimido no es más que el aire del medio ambiente capturado, haciéndolo pasar por un medio compresor que incrementa la presión, reduciendo el volumen en la mayoría de los casos, el aire al ser descomprimido libera energía y vuelve a su estado natural, por lo que lo mejor para poder mantener un suministro de aire correcto es mantener el compresor en óptimas condiciones.

El compresor no solamente tiene que estar en buenas condiciones sino que también debe ser adecuado para el uso que se le vaya a dar, y que este sea adecuado para satisfacer la demanda de aire comprimido, de lo contrario el sistema perderá presión, lo que se verá reflejado en un mal funcionamiento de las herramientas y equipo que utilice el servicio de aire comprimido.

Un buen sistema de aire comprimido es el que puede mantener un flujo constante de aire sin perder presión dentro del sistema, se debe mencionar que un sistema siempre tendrá pérdidas de presión por distintas causas, tales como la fricción dentro de la tubería, pérdidas por fugas en el sistema, por accesorios, etc. Por lo que todas estas pérdidas deben ser consideradas para el diseño de la red de aire comprimido y para la elección del compresor.

1.3.1. Unidades físicas

Es importante entender las unidades físicas, para entender datos científicos que conlleva la elaboración de un sistema de aire comprimido.

1.3.1.1. Presión

La fuerza sobre un centímetro cuadrado de una columna de aire, desde el nivel del mar hasta el límite de la atmosfera, es de aproximadamente 10,13 N. Por lo tanto, la presión atmosférica es equivalente a $10,13 \times 10^4$ Pa; cuanto mayor sea la altitud sobre el nivel del mar menor será la presión atmosférica y viceversa.

1.3.1.2. Temperatura

En el caso de los gases es más difícil definir la temperatura de forma clara, ya que la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas, las moléculas se mueven más rápidamente cuanto mayor sea la temperatura; por el contrario, la ausencia de movimiento de las moléculas se conoce como cero absoluto.

1.3.1.3. Capacidad térmica

El calor es una de tantas formas de energía, esta se representa por la energía cinética de las moléculas desordenadas en una sustancia. La capacidad térmica es también conocida como capacidad calorífica o entropía, y se refiere a la cantidad de calor necesaria para producir un cambio de unidad de temperatura (1K) y se expresa en J/K.

Aunque es más utilizado el calor específico o entropía específica, esta se refiere a la cantidad de calor necesaria para producir un cambio de temperatura (1K) en una masa unitaria de sustancia (1kg). Y es expresada en $J/(kg \times K)$, este tiene la característica de no ser constante, sino que aumenta, en general, a medida que la temperatura incrementa.

1.3.1.4. Trabajo

El trabajo mecánico se puede definir como el producto de una fuerza por la distancia en la que actúa sobre un cuerpo, al igual que el calor, el trabajo es energía que se transfiere de un cuerpo a otro, la diferencia es que se trata de fuer en lugar de temperatura.

Un claro ejemplo es la compresión de un gas en un cilindro cuando es desplazado un pistón. La compresión se produce como resultado de la fuerza que mueve el pistón; de esta forma, la energía se transfiere del pistón al gas encerrado. Esta transferencia de energía es trabajo, en el sentido termodinámico de la palabra. El resultado del trabajo puede tener muchas formas, tales como cambios de energía potencial, la energía cinética o la energía térmica.

La unidad de medida en el SI es el $J = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$

1.3.1.5. Potencia

La potencia es el trabajo realizado por unidad de tiempo. Es una medida de la rapidez con la que se puede hacer un trabajo. La unidad SI de la potencia es el Vatio: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$; Por ejemplo la potencia o flujo energético al eje de accionamiento de un compresor, es numéricamente similar al calor emitido desde el sistema, más el calor aplicado al gas.

1.3.1.6. Caudal volumétrico

El caudal volumétrico de un sistema es una medida del volumen del fluido que circula por unidad de tiempo. Esta puede calcularse como el producto de la

velocidad media del mismo y del área de la sección transversal del caudal. La unidad de medida SI del caudal es m^3/s . Sin embargo, también es utilizada con frecuencia la unidad de litros/segundos.

En el caso de los compresores, para el aire suministrado (FAD), el caudal de salida del compresor se recalcula como caudal volumétrico de aire libre a las condiciones estándar de entrada (presión de entrada 1 bar_a y temperatura de entrada $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

1.4. Descripción del servicio rápido

El área de servicio rápido es indispensable en la temporada de zafra, se encargada de darle mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de arrastre de caña, y realiza servicio a los cabezales y carretas; se lleva un control programado para asegurar que los equipos se reciban el servicio en su momento.

1.4.1. Descripción de trabajos en llantera

En el área de llantera del servicio rápido se realizan tareas de inspección y mantenimiento de llantas y rines de servicio; en las llantas se revisa presión y estado de la llanta, si la llanta presenta problemas es reemplazada por una nueva o reparada, de la misma manera los rines son inspeccionados en busca de desperfectos causados por la fatiga del material o por un apriete incorrecto de los pernos.

Se debe mencionar que es una de las áreas con más mantenimientos debido a que las llantas son sometidas a un gran esfuerzo con el fin de transportar la caña de manera más eficiente.

Las llantas sufren desgaste debido a que la mayoría de rutas internas del ingenio son de terracería, esto a veces causa que rocas queden atoradas dentro del espacio entre par de llantas.

La demanda de aire en el área de llantera es una de las más grandes debido a la cantidad de llantas que necesitan mantenimiento diariamente, por lo que se verá beneficiada por la realización de este proyecto.

1.4.2. Descripción de trabajos en área de cabezales

En el área de servicio rápido de cabezales se llevan a cabo mantenimientos que puedan ser cubiertos en menos de dos horas, de lo contrario en cabezal es ingresado al área de taller de cabezales en donde se trabajan todos sus problemas.

En esta área se hace revisión de niveles de aceite, de refrigerante, funcionamiento de aire acondicionado, sistema eléctrico, luces, frenos, filtros.

Se realizan mantenimientos preventivos programados para cada cabezal, previniendo, de esta manera, tener que recurrir a mantenimientos correctivos.

1.4.3. Descripción de servicio rápido de equipos de arrastre

En el área de servicio rápido se da mantenimiento preventivo y en su mayoría correctivo a las carretas y *dollies*.

El equipo de arrastre es revisado por el encargado del área, para poder resolver todos los problemas que estos presenten, tomando en cuenta también

los comentarios del piloto, y de esta manera poder realizar un mantenimiento correcto.

Al igual que en el área de cabezales, si el tiempo estimado para el mantenimiento correctivo excede las dos horas, es enviado al taller de carretas.

1.5. Ahorro de energía

Con la implementación de la mejora de la red de aire comprimido en el área de servicio rápido no solo se pretende tener disponible un mejor servicio, sino también reducir costos, debido a que en la red actual se perciben muchas deficiencias, teniendo demasiadas derivaciones innecesarias, así como una gran cantidad de fugas a lo largo de toda la red; en la red actual se han hecho malas reparaciones, lo que causa pérdida de aire y como ya se ha mencionado anteriormente, el aire comprimido no es gratis, por lo que cada una de estas fugas representan un gasto fijo e innecesario para la empresa. Con base en tablas se calculó a cuánto equivale cada una de las fugas en función del diámetro de las mismas, se presentan los datos en la siguiente tabla.

Tabla I. Caudales de fuga referidos a diferentes diámetros de orificios

PSI	Diámetro del Orificio en mm									
	0,8	1,6	3,2	6,4	9,5	12,7	15,9	19,4	22,2	25,4
5	0,007	0,028	0,112	0,450	1,011	1,798	2,812	4,050	5,522	7,193
6	0,008	0,028	0,123	0,493	1,107	1,968	3,087	4,418	6,032	7,873
7	0,008	0,028	0,133	0,530	1,195	2,124	3,313	4,758	7,363	8,496
9	0,009	0,028	0,150	0,600	1,351	2,399	3,738	5,409	7,363	9,600
12	0,011	0,028	0,172	0,688	1,546	2,747	4,305	6,174	8,411	10,988
15	0,012	0,028	0,190	0,762	1,713	3,059	4,758	6,853	9,317	12,178
20	0,014	0,028	0,223	0,889	2,002	3,568	5,551	8,015	10,903	14,245
25	0,016	0,028	0,254	1,017	2,291	4,078	6,372	9,147	12,461	16,284
30	0,018	0,028	0,286	1,147	2,580	4,588	7,165	10,337	14,047	18,351
35	0,020	0,028	0,320	1,274	2,860	5,098	7,958	11,470	15,604	20,390
40	0,022	0,028	0,351	1,405	3,172	5,607	8,779	12,631	17,190	22,458
45	0,024	0,028	0,382	1,532	3,455	6,117	9,572	13,792	18,748	24,497
50	0,026	0,028	0,416	1,660	3,738	6,655	10,365	14,953	20,334	26,564
60	0,030	0,028	0,479	1,914	4,305	7,675	11,979	17,247	23,449	30,642
70	0,034	0,028	0,544	2,172	4,899	8,694	13,565	19,541	26,592	34,749
80	0,038	0,028	0,606	2,427	5,466	9,714	15,180	21,835	29,736	38,827
90	0,042	0,028	0,671	2,685	6,032	10,733	16,765	24,157	32,880	42,933
100	0,046	0,028	0,736	2,945	6,627	11,753	18,380	26,451	36,023	47,040
110	0,050	0,028	0,799	3,200	7,193	12,801	19,966	28,773	39,167	51,146
120	0,054	0,028	0,864	3,455	7,760	13,820	21,580	31,067	42,310	55,252
130	0,056	0,028	0,895	3,568	8,043	14,245	22,373	32,228	43,868	57,291

Fuente: AYRFUL. Ahorro de energía en los sistemas de aire comprimido.

<http://www.ayrful.com.ar/tablas.htm>. Consulta 1 de agosto de 2016.

Tabla II. Costos por fugas en función del diámetro

COSTO POR FUGAS										
Orificio (mm)	Pérdida de aire (m ³ /min) @ 120 psi. Ver tabla I	Pérdida de aire (cfm) @ 120 psi.	kW/cfm (Promedio compresor de tornillo)	kW	Horas de trabajo al año del sistema ***	kWh/año	\$/kWh**	Costo (\$)	Costo(Q) *	
0,8	0,054	1,906988 cfm	0,228	0,43	5 800	2 521,80	0,07	176,53	1 346,84	
1,6	0,232	8,192987 cfm	0,228	1,87	5 800	10 834,41	0,07	758,41	5 786,43	
3,2	0,864	30,511814 cfm	0,228	6,96	5 800	40 348,82	0,07	2 824,42	21 549,90	
6,4	3,455	122,01194 cfm	0,228	27,87	5 800	161 348,59	0,07	11 294,40	86 172,90	
9,5	7,76	274,04129 cfm	0,228	62,48	5 800	362 392,21	0,07	25 367,45	193 546,07	
Horas de trabajo en zafra del sistema			4 320	**Tarifa de kWh para consumo de Pantaleón, S.A.						
Horas de trabajo en reparación del sistema			1 480							
***Total de horas de trabajo del sistema			5 800							
							*Tipo de cambio	7,62 Q/\$	Según Banco de Guatemala para fecha 20 de octubre de 2014	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla I.

Por consiguiente, se evaluaron las fugas del sistema, determinando un diámetro aproximado para la realización de la tabla II.

Tabla III. **Costos por fugas para el área de servicio rápido**

COSTOS POR FUGAS EN SERVICIO RÁPIDO					
Columna	Fugas	Diámetro de fuga 1 (mm)	Diámetro de fuga 2 (mm)	Costo fugas (\$)	Costo fugas (Q)
2	1	0,8	0	176,53	1 346,84
5	2	6,4	1,6	12 052,81	91 959,32
6	1	0,8	0	176,53	1 346,84
8	1	1,6	0	758,41	5 786,43
10	1	1,6	0	758,41	5 786,43
14	1	3,2	0	2 824,42	21 549,46
20	1	1,6	0	758,41	5 786,43
TOTAL				17 505,51	133 561,75
Diámetro de fuga (mm)	Cálculo para columna 5			NOTA: Valores con base en tabla II	
6,4	11 294,40	86 172,90			
1,6	758,41	5 786,43			
TOTAL	12 052,81	91 959,32		Se muestran solo las columnas con problemas	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla I.

Teniendo estos datos se puede proceder a evaluar si la implementación del proyecto será rentable para la empresa, pudiendo observar que el gasto por fugas es alto; al implementar una nueva red de aire comprimido reduciendo al máximo las fugas el dinero desperdiciado podrá recuperarse, haciendo al proyecto una inversión rentable.

Tabla IV. Ahorro energético al eliminar las fugas

Ahorro energético al eliminar fugas					
Columna	Fugas	Diámetro de fuga 1 (mm)	Diámetro de fuga 2 (mm)	Ahorro energético kW/año	
2	1	0,8	0	2 521,80	
5	2	6,4	1,6	172 183,00	
6	1	0,8	0	40 348,82	
8	1	1,6	0	10 834,41	
10	1	1,6	0	10 834,41	
14	1	3,2	0	40 348,82	
20	1	1,6	0	10 834,41	
TOTAL				287 905,67	

Columna 5		NOTA: Valores con base en tabla II
Diámetro de fuga (mm)	Cálculo para columna 5	
6,4	161 348,59	Se muestran solo las columnas con problemas de fugas perceptibles.
1,6	10 834,41	
TOTAL	172 183,00	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla II.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

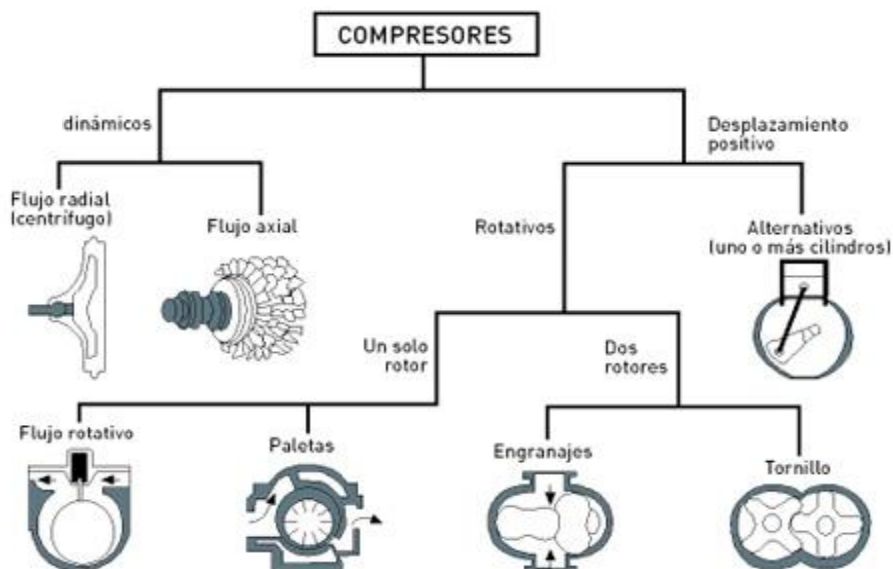
2.1. Características técnicas de la maquinaria

Se presenta a continuación soporte teórico utilizado para la realización del servicio técnico profesional, teniendo en cuenta el equipo necesario para mejorar el servicio de aire comprimido.

2.1.1. Tipos de compresores

Existen dos principios de compresión de aire: la compresión de desplazamiento positivo y la compresión dinámica.

Figura 2. Tipos de compresores



Fuente: <http://dinagasunefaim.blogspot.com/>. Consulta: 25 de noviembre de 2015.

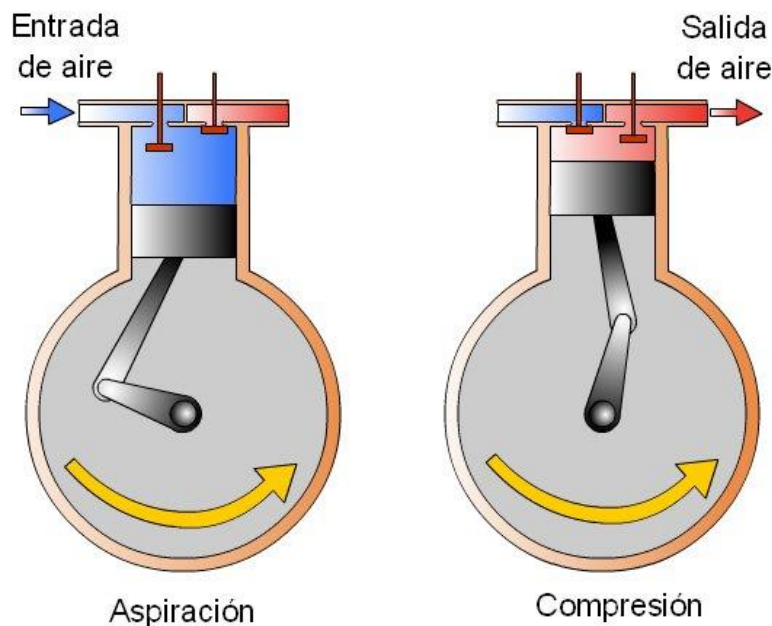
2.1.1.1. Compresión de desplazamiento positivo

Este tipo de compresor encierra un volumen de aire o gas, incrementándole la presión por medio de reducir dicho volumen mediante el desplazamiento de uno o más elementos en movimiento.

2.1.1.1.1. Compresor de pistón

El compresor de pistón es el más antiguo y común de todos los compresores industriales, este se puede encontrar en variantes de simple o doble efecto, lubricado o exento de aceites, y con diversidad de cilindros y diferentes configuraciones.

Figura 3. Compresor de pistón



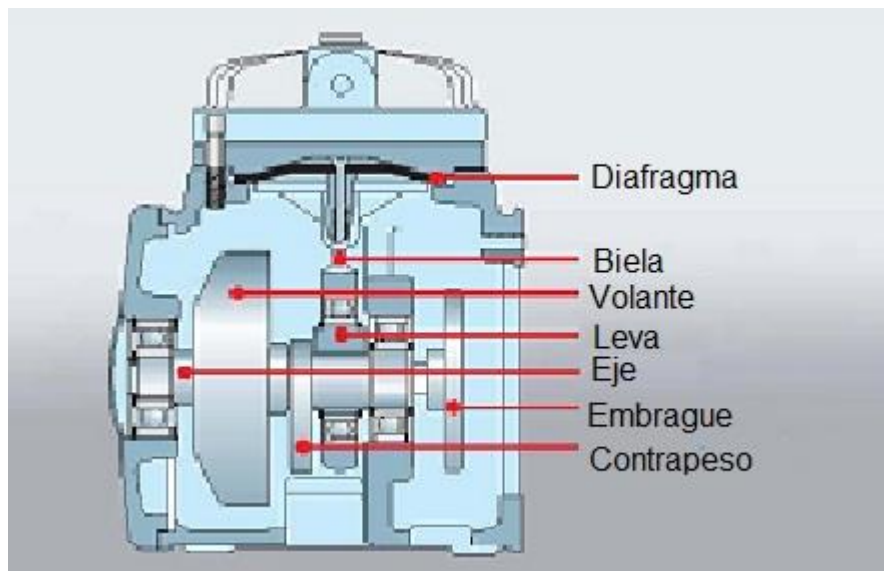
Fuente: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html.

Consulta: 25 de noviembre de 2015.

2.1.1.1.2. Compresor de diafragma

En estos compresores su diafragma es accionado de forma mecánica o hidráulica, los accionados mecánicamente son empleados para bajas presiones y caudales pequeños, mientras que los accionados hidráulicamente se usan para aplicaciones de alta presión.

Figura 4. **Compresor de diafragma**



Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>. Consulta: 25 de noviembre de 2015.

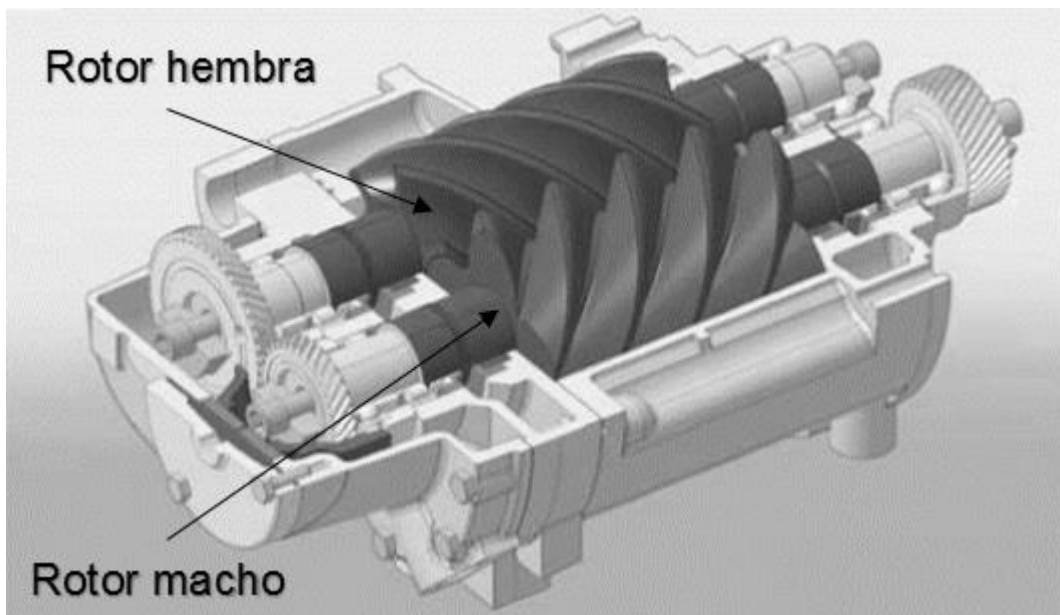
2.1.1.1.3. Compresores de Tornillo

El principio de compresión de un compresor de desplazamiento rotativo en forma de tornillo fue desarrollado durante la década de 1930, teniendo la necesidad de un compresor rotativo que entregará un elevado caudal y que permanezca estable en condiciones de presión variables.

Las piezas principales del elemento de tornillo son los rotores hembra y macho, girando en direcciones opuestas y sin disminuir el volumen entre ellos y la carcasa. Cada elemento de tornillo tiene una relación de presiones integrada fija que depende de su longitud, del paso del tornillo y de la forma de la lumbrera de descarga.

El no tener válvulas y fuerzas mecánicas que ocasionen desequilibrio, significa que puede funcionar con una alta velocidad del eje y puede combinar un gran caudal con unas pequeñas dimensiones exteriores.

Figura 5. **Compresor de tornillo**

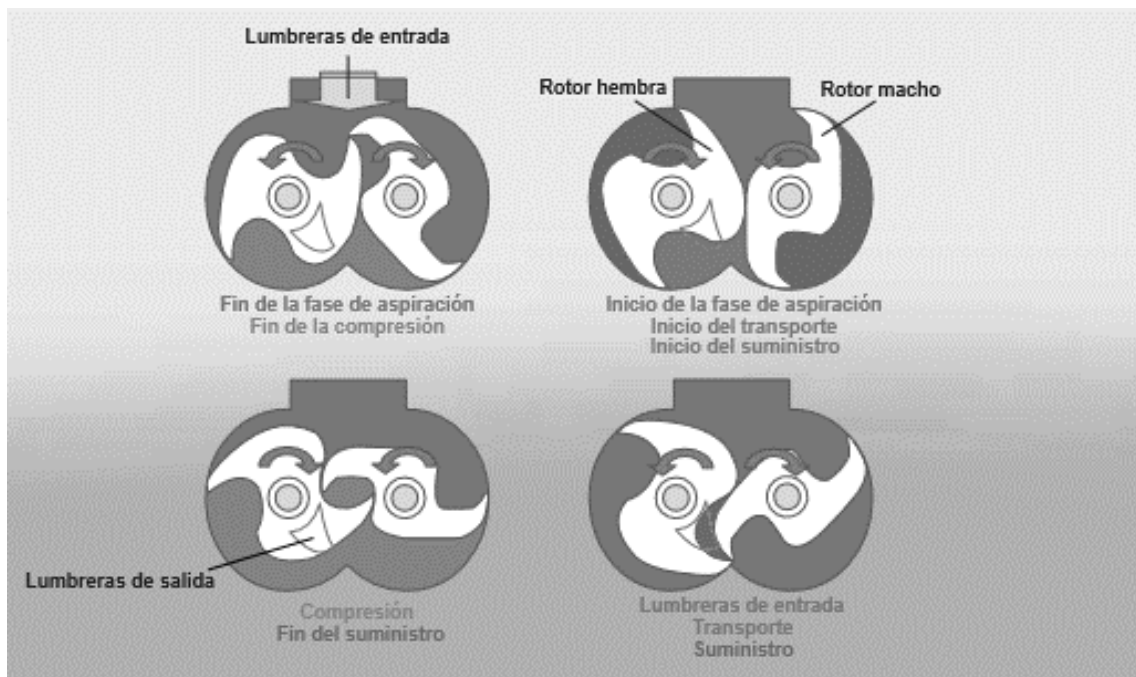


Fuente: Atlas Copco. *Manual del aire comprimido*. p. 36.

2.1.1.1.4. Compresores de uña

El compresor de uña consta de dos rotores que giran en sentido contrario en una cámara de compresión. El proceso se divide en tres fases: aspiración, compresión e impulsión. Durante la fase de aspiración, el aire ingresa en la cámara de compresión hasta que los rotores bloquean la entrada, durante la fase de compresión, el aire aspirado se comprime en la cámara, que se reduce cada vez más a medida que los rotores giran. Durante la compresión, la lumbrera de salida está bloqueada por uno de los rotores mientras que la entrada permanece abierta para aspirar aire nuevo en la sección opuesta de la cámara de compresión. La descarga se da cuando uno de los rotores abre la lumbrera de salida y el aire comprimido se expulsa de la cámara de compresión.

Figura 6. Compresor de uña

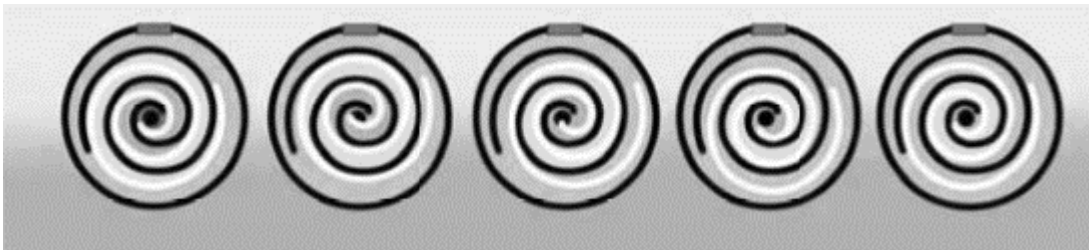


Fuente: Atlas Copco. *Manual del aire comprimido*. p. 38.

2.1.1.1.5. Compresores de scroll

Es normalmente exento de aceite con desplazamiento orbital, es decir, comprime una cantidad específica de aire en un volumen cada vez más pequeño, el elemento compresor se compone por una espira fija en una carcasa y una espiral móvil excéntrica accionada por motor, las espirales son montadas con un desfase de 180° para formar bolsas de aire con un volumen que se va reduciendo gradualmente.

Figura 7. Compresor de scroll



Fuente: Atlas Copco. *Manual del aire comprimido*. p. 39.

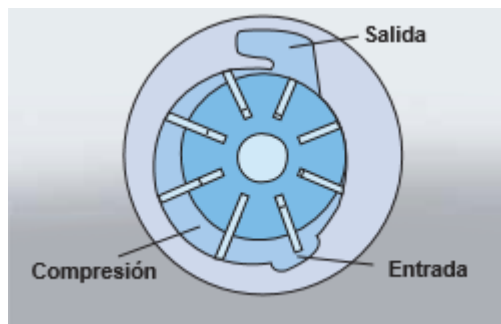
2.1.1.1.6. Compresores de paletas

El principio de funcionamiento de un compresor de paletas es el mismo que el de muchos motores neumáticos. Las paletas se fabrican normalmente con aleaciones especiales. La mayoría de los compresores de paletas son lubricados con aceite.

Un rotor con paletas radiales flotante es montado excéntricamente en una carcasa cilíndrica o estator, Cuando el rotor gira, las paletas son desplazadas contra las paredes del estator debido la fuerza centrífuga, el aire se aspira cuando aumenta la distancia entre el rotor y el estator. El aire se captura en las

diferentes bolsas del compresor, cuyo volumen se reduce con la rotación y el aire es descargado por las lumbreras de salida.

Figura 8. **Compresor de paletas**



Fuente: Atlas Copco. *Manual del aire comprimido*. p. 40.

2.1.1.2. Compresores dinámicos

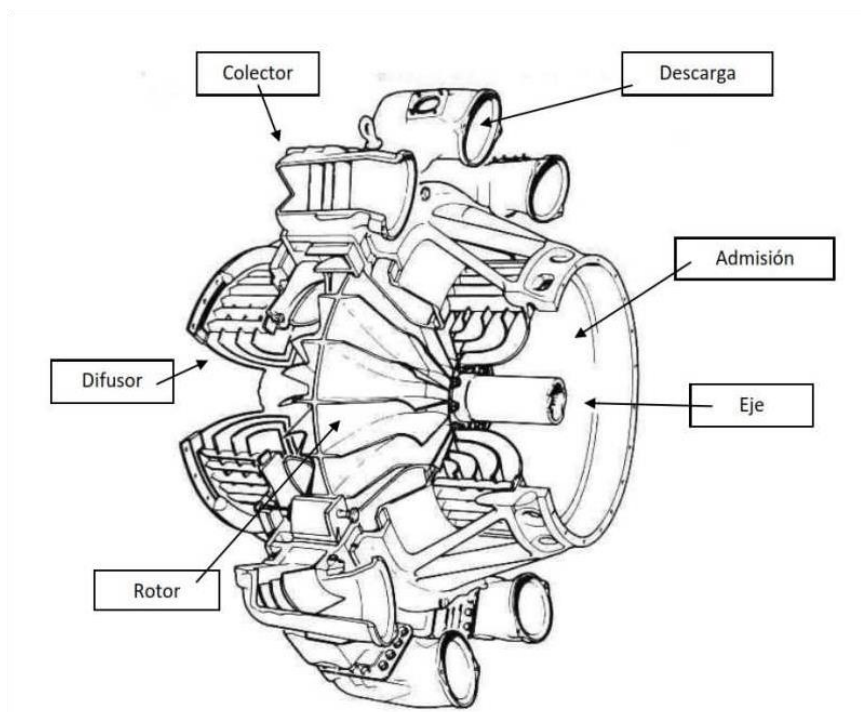
Los compresores dinámicos están disponibles en diseño axial y radial. También son conocidos normalmente como turbocompresores. Los que tienen diseño radial se denominan compresores centrífugos. Los compresores dinámicos funcionan a presión constante, a diferencia de los compresores de desplazamiento positivo que funcionan con caudal constante. Estos se ven afectados por los cambios de temperatura de entrada, ya que al cambiar también hay un cambio en la capacidad.

2.1.1.2.1. Compresores centrífugos

Estos compresores se caracterizan por tener un flujo de descarga radial, el aire entra por el centro de un rodete dotado de álabes radiales y es impulsado hacia su perímetro por las fuerzas centrífugas; este movimiento radial del aire

también genera un aumento de la presión y energía cinética. Antes de ser dirigido al centro del rodete la siguiente etapa de compresión el aire pasa por un difusor y una voluta o carcasa espiral donde la energía cinética se convierte en presión.

Figura 9. **Compresor centrífugo**



Fuente: TORRES, Argelio. *Compresores neumáticos*.

<http://rogelioatenco.blogspot.com/2015/05/compresores-neumaticos.html>. Consulta 2 de agosto de 2016.

2.1.1.2.2. **Compresores axiales**

Los compresores axiales tienen un flujo axial. El aire circula paralelo al eje del compresor a través de hileras de álabes giratorios y estacionarios, de esta manera la velocidad del aire aumenta gradualmente, al mismo tiempo que los álabes estacionarios convierten la energía cinética en presión.

Estos suelen ser de menores dimensiones que los centrífugos y funcionan por lo general a mayores velocidades, son utilizados para elevados caudales constantes, a una presión relativamente moderada.

2.1.2. Herramientas neumáticas

Las herramientas neumáticas son de suma importancia para el mantenimiento de los equipos de arrastre de caña, a continuación se muestran algunas herramientas y sus características.

2.1.2.1. Pistola de impacto

Las pistolas de impacto son una de las herramientas más importantes en el taller ya que al hacer uso de estas se realizan los trabajos de manera más eficiente, estas constan de una carcasa generalmente de magnesio; da una serie de golpes rotativos sobre el vaso de ajuste y, de esta manera, produce un par. Una de las muchas ventajas de utilizar pistolas de impacto es su elevada relación potencia/peso, lo que permite un apriete.

Figura 10. **Pistola neumática de impacto**



Fuente: Herramientas. <http://www.ingersollrandproducts.com>. Consulta: 12 de junio de 2015.

Figura 11. **Pistola neumática de impacto**



Fuente: Herramientas. <http://www.ingersollrandproducts.com>. Consulta: 12 de junio de 2015.

2.1.2.2. **Tricket neumático**

El principio de funcionamiento es como un *tricket* hidráulico, pero se facilita el uso al usar aire comprimido para accionar el mecanismo y así hacer más eficiente la operación.

Figura 12. **Tricket neumático**



Fuente: <http://www.globaltech.com.gt/productos/soporte-y-elevacion/itemlist/tag/Tricket>.

Consulta: 12 de junio de 2015.

2.2. Sistema de aire comprimido

En un sistema de aire comprimido debe contar con ciertos equipos que garantizan y mejoran la calidad del aire, estos equipos se emplean según los requerimientos del proceso en el que será utilizado, por ejemplo si es en una industria de alimentos, el aire debe estar libre de aceites que pudiesen mezclarse con el producto; por otra parte, si se va utilizar en un taller mecánico, no es necesario el uso de equipos libres de lubricantes.

A continuación, se presentan algunos equipos utilizados en la instalación de la nueva red de aire para el área de servicio rápido del Ingenio Pantaleón.

2.2.1. Tratamiento de aire

Es importante tratar el aire para evitar impurezas, humedad, lubricantes, entre otros, dentro de la red de aire comprimido, según los requerimientos de la calidad del aire para el proceso en el que será utilizado.

2.2.1.1. Secadores

Los secadores son importantes para la eliminación de condensado dentro de la red de aire comprimido. Como se ha mencionado, el aire contiene una cantidad de humedad que depende de varios factores, por lo que la eliminación total o parcial de esta humedad es necesaria para evitar deficiencias, tanto en la red como en el proceso en el que será utilizada. Esta humedad está presente en el ambiente, aunque a veces no es perceptible, al ser comprimida y llevarla al punto de rocío esta se condensa. Esta condensación puede dañar los equipos y herramientas.

Figura 13. **Secador de aire**



Fuente: http://www.kaeser.es/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying.

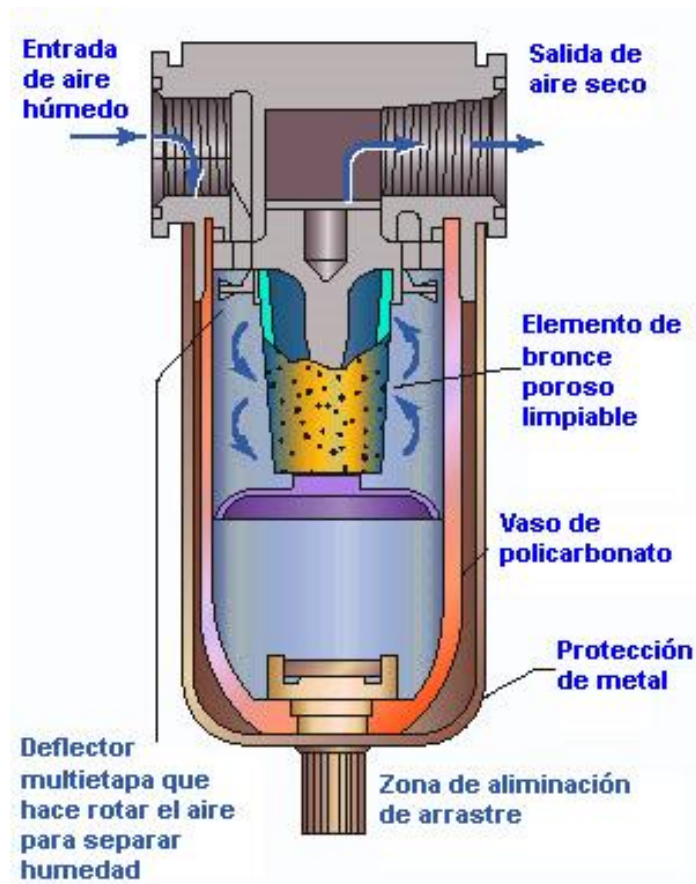
Consulta: 25 de noviembre de 2015.

2.2.1.2. Filtro

El filtro es necesario para eliminar partículas e impurezas presentes en el ambiente, este también sirve como un secador atrapando el condensado, que puede ser eliminado por la válvula de drenaje.

Si lo que se requiere es aire libre de aceite y humedad, es posible utilizar un filtro conglutinante.

Figura 14. **Filtro de aire**



Fuente: http://www.tecnoficio.com/mecanica/neumatica_accesorios.php. Consulta: 25 de noviembre de 2015.

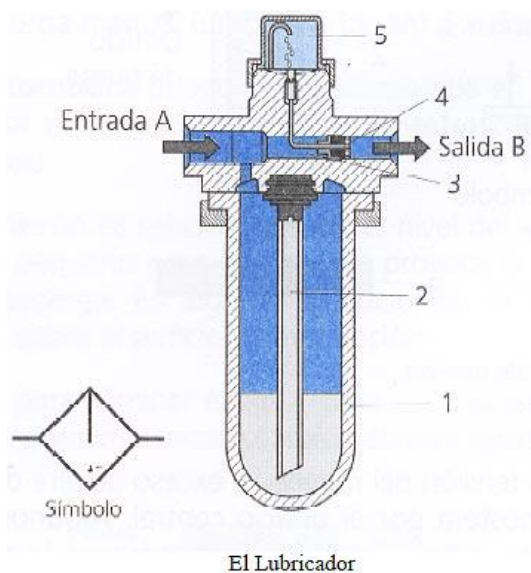
2.2.1.3. **Lubricador**

Los lubricadores son montados generalmente después del filtro regulador, creando una niebla de lubricante con el propósito de lubricar los mecanismos de las herramientas, o bien, las válvulas y cilindros accionados por medio de aire comprimido.

Se debe tener en cuenta que no se debe usar cualquier lubricante en estos dispositivos, es recomendado el uso de un lubricante que tenga una viscosidad cinemática dentro de 10 a 50 cSt, a 20 °C en la mayoría de aplicaciones.

La cantidad de aceite se dosifica proporcionalmente al caudal y el número de gotas es regulado con el tornillo de ajuste, con 1 a 12 gotas por cada 1 000 litros de aire es suficiente para la lubricación.

Figura 15. **Lubricador de aire**



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3006>. Consulta: 25 de noviembre de 2015.

2.2.1.4. **Almacenamiento de aire comprimido**

El almacenamiento es de suma importancia en la red de aire comprimido, para esto se utilizan depósitos que deben cumplir con las normas de seguridad establecidas, estos depósitos a su vez sirven para eliminar el condensado al ser

instalados en conjunto con el compresor, eliminando una gran cantidad de condensado del sistema; por otra parte los depósitos ayudan a compensar los picos de requerimientos de CFM en la red, teniendo de esta forma un caudal constante y sin variar la presión, ya que estos como función principal es almacenar una gran cantidad de aire comprimido.

Un lugar común de instalación es en conjunto con el compresor, aunque también es recomendable la instalación de depósitos cerca de los puntos con mayor requerimiento de aire comprimido (CFM), para así tener un flujo constante en puntos que posiblemente estén lejos del cuarto de compresores.

2.2.1.5. Extracción de condensado

La extracción del condensado es indispensable para que un sistema de aire comprimido trabaje de la mejor manera posible, parte de este condensado es eliminado del depósito principal, aunque para una mejor calidad de aire es necesario uso de métodos de secado especiales.

No se profundizara en el tema de los métodos de secado ya que en este proyecto se utilizó un secador refrigerativo, este funciona enfriando el aire a una temperatura cerca al punto de congelamiento, esto es más bajo que el punto de rocío del aire, por lo que la eliminación de condensación es muy efectiva, condensado que es luego eliminado por medio de un sistema de drenaje automático, siendo este un método económico.

2.2.2. Distribución de aire comprimido

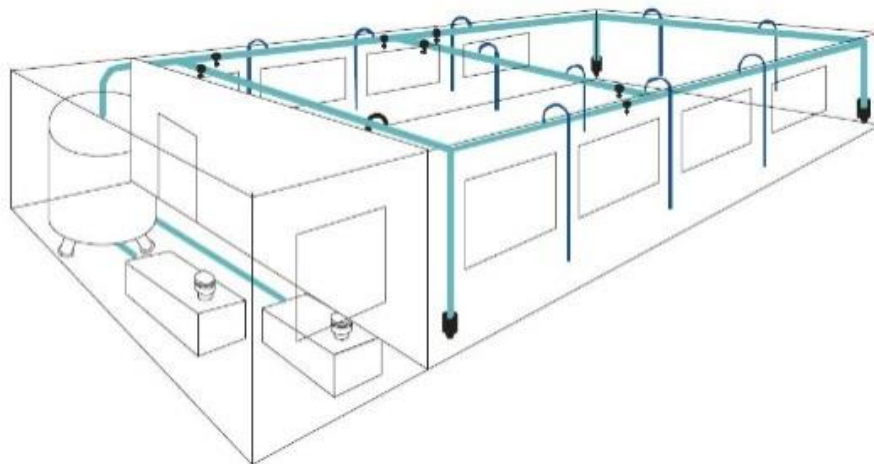
Para la distribución del aire comprimido hay tres tipos de circuitos utilizados en la industria, los cuales se explican a continuación.

2.2.2.1. Circuito cerrado

Este circuito es de los más utilizados ya que tiene la ventaja de mantener la presión, caudal y la velocidad de aire constante en varios puntos del circuito debido a que cada una de estas variables se comparte a lo largo de toda la línea.

Este circuito tiene la ventaja de tener flujo en ambos sentidos de la línea de aire, aunque esto también conlleva cierta desventaja ya que los equipos de mantenimientos como: filtros, reguladores, lubricadores y algunas válvulas, traen predefinido la dirección del flujo; por lo que no se pueden instalar en la línea principal de aire, solamente al final de cada ramal, ya que ahí siempre se garantiza el flujo en una dirección.

Figura 16. Circuito cerrado



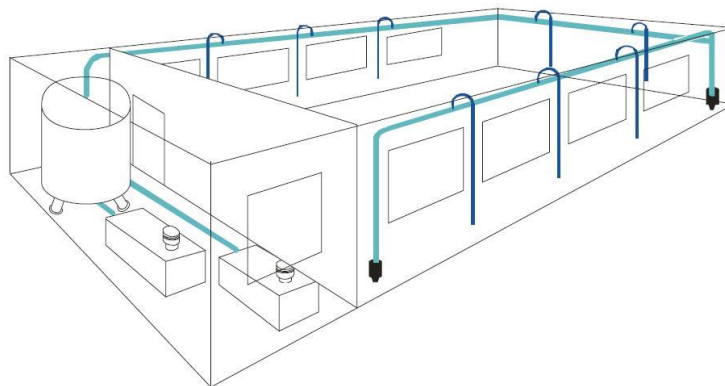
Fuente: *Distribución de aire comprimido*. <http://industrial-automatca.blogspot.com>. Consulta: 22 de junio de 2015.

2.2.2.2. Circuito abierto

Este tipo de circuito tiene la ventaja de ser más económico en su inversión inicial ya que conlleva menos materiales. Se debe tener en cuenta que este tipo de circuito se debe utilizar únicamente en sistemas en los que los puntos de consumo están cercanos a la unidad compresora, ya que se presentan muchas pérdidas de presión y caudal a lo largo de la línea.

A diferencia del circuito cerrado, en este, el flujo del aire va una sola dirección a lo largo de toda la línea, por lo que sí se pueden utilizar unidades de mantenimiento, garantizando una mejor calidad de aire.

Figura 17. **Circuito abierto**



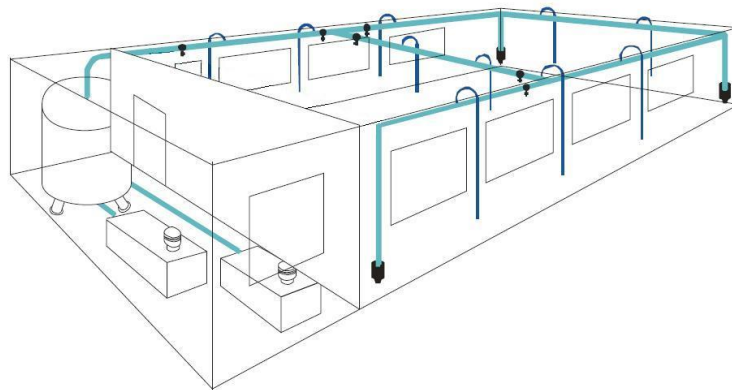
Fuente: *Distribución de aire comprimido*. <http://industrial-automatica.blogspot.com>. Consulta: 22 de junio de 2015.

2.2.2.3. Circuito mixto

En este tipo de circuito se aprovechan las ventajas de ambos circuitos anteriormente mencionados. Este circuito es de uso muy frecuente en la

industria. Para la instalación se debe tener cuidado con la medición de diámetros y materiales a usar, ya que puede resultar costosa.

Figura 18. **Circuito mixto**



Fuente: *Distribución de aire comprimido*. <http://industrial-automatica.blogspot.com>. Consulta: 22 de junio de 2015.

2.2.3. Tubería

Se debe considerar el tipo de tubería a ser utilizada en la red, tanto el material como los diámetros. Para la realización de una red de aire comprimido existe varios materiales recomendados, tales como: Hierro Galvanizado, Aluminio, PVR. Aunque en algunos lugares utilicen el PVC para distribuir el aire comprimido, este no se recomienda por el riesgo de explosión, pudiendo causar lesiones a personas cerca de el.

Figura 19. **Tubería de PVR**



Fuente: <http://www.prevost.es/>. Consulta: 22 de junio de 2015.

Figura 20. **Tubería de aluminio**



Fuente. <http://www.directindustry.es>. Consuta: 22 de junio de 2015.

Figura 21. **Tubería de hierro galvanizado**



Fuente: Productos. <http://www.donadio-cba.com.ar/>. Consulta: 22 de junio de 2015.

2.3. Fallas en la red de aire comprimido actual

A lo largo de la red de aire comprimido se encuentran muchos problemas, tanto de diseño como de fatiga de los materiales; se puede observar ramificaciones improvisadas, demasiados accesorios y cambios bruscos de dirección.

Por la necesidad de mantener en funcionamiento la red de aire comprimido se han reparado las fugas de una manera inadecuada, por lo que la fuga no se elimina en su totalidad y, como ya se ha mencionado, eso implica un gasto innecesario para la empresa.

Figura 22. **Mala reparación de fuga**



Fuente: Patio 3, Servicio rápido, Ingenio Pantaleón.

El compresor se encuentra en un lugar inadecuado, ya que está ubicado entre pistas en las que se les da mantenimiento a carretas y cabezales, lo que lo deja expuesto a aire con muchas impurezas y hasta una posible colisión con el compresor. (Ver figura 26).

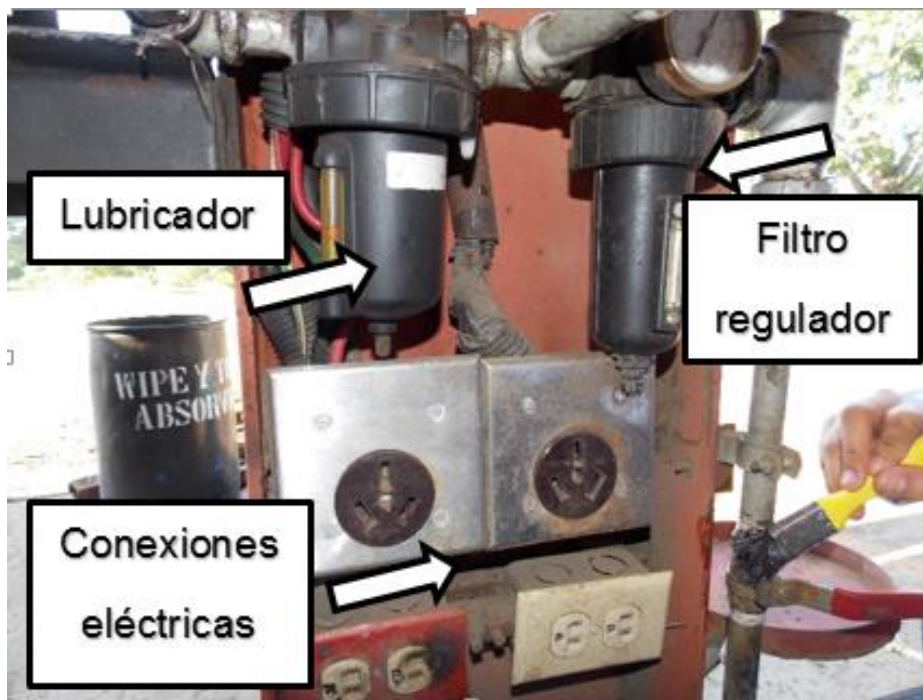
En cuanto al diseño de la red, no está hecho de una manera técnica y deja algunas zonas sin conexiones para abastecer las herramientas. La distribución está hecha de forma cerrada con dos anillos.

Algunas de las unidades de mantenimiento FRL están deterioradas, otras fuera de servicio, y otras se utilizan de forma incorrecta, lo que no solo hace deficiente la operación sino que también se fatigan las partes de las

herramientas neumáticas, incrementando el gasto al tener que comprar nuevos equipos.

Algunas de las purgas de los filtros están sobre conexiones de la red eléctrica, lo que hace imposible purgar los filtros por los accidentes que se puedan causar. Al sobrepasar el límite el filtro ya no hace su trabajo eficientemente.

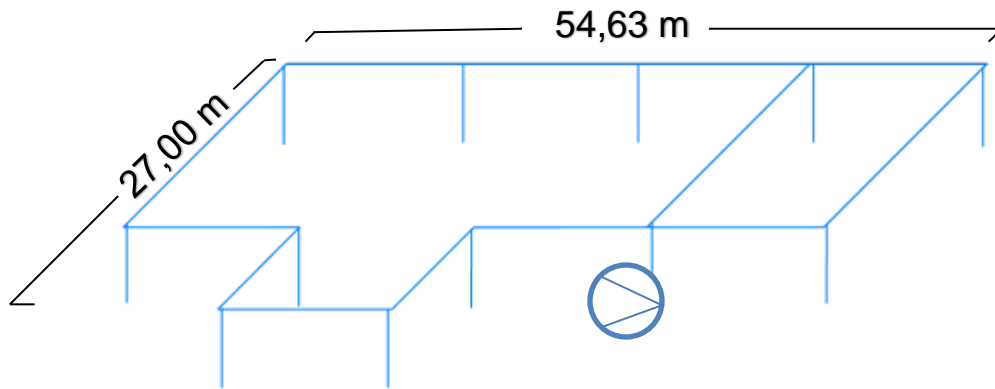
Figura 23. **Posición incorrecta de las purgas**



Fuente: Patio 3, Servicio rápido, Ingenio Pantaleón.

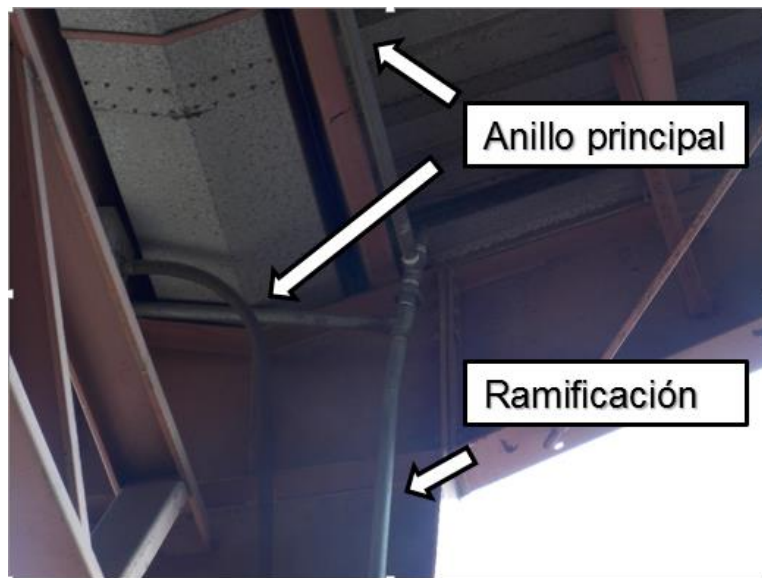
Las bajadas desde el anillo principal se hacen de manera directa, es decir no se hace la ramificación de “cuello de ganso” lo que hace que toda la condensación llega directamente a las conexiones, y al no contar con un secador, la condensación en el sistema es elevada.

Figura 24. **Diseño antiguo del sistema**



Fuente: elaboración propia, con base en medidas tomadas en Pantaleón, S.A.

Figura 25. **Ramificaciones incorrectas**



Fuente: Patio 3, Servicio rápido, Ingenio Pantaleón.

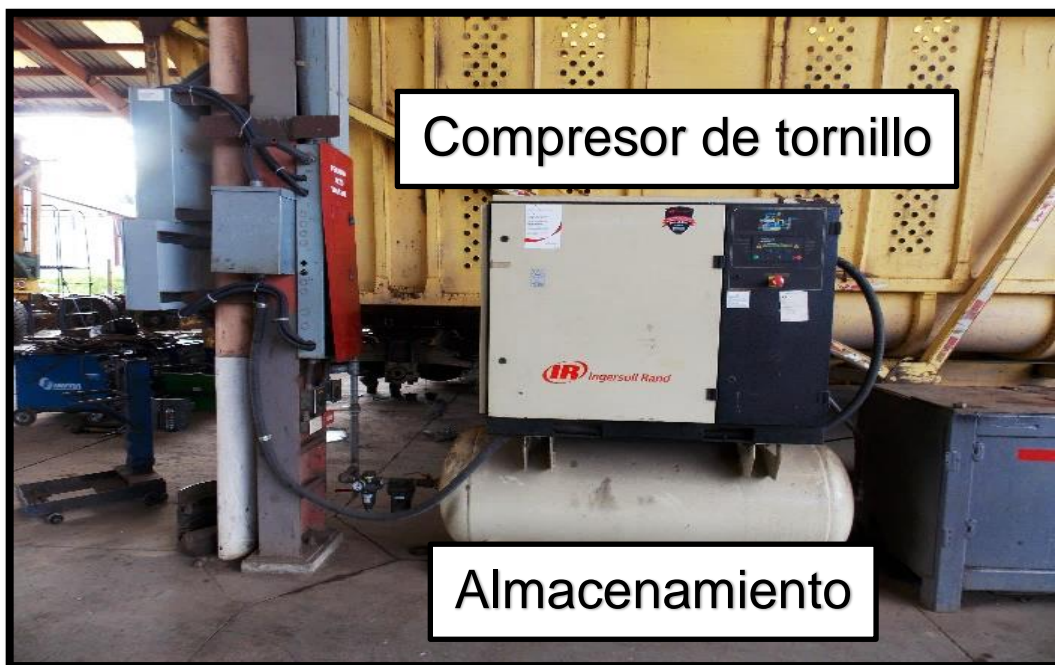
La red de aire comprimido está hecha con tubería de hierro galvanizado. A pesar de ser un material resistente este se ha deteriorado con el tiempo,

creando fugas, y cierto grado de corrosión por la condensación elevada en el sistema.

El aire atmosférico en la costa sur es un aire húmedo por lo que la necesidad de incluir un secador en el sistema es prioridad, ya que el sistema pierde eficiencia por la gran cantidad de condensado.

El compresor instalado ya se encuentra en mal estado, no se le ha dado mantenimiento preventivo y su eficiencia actualmente es baja.

Figura 26. **Compresor red antigua**

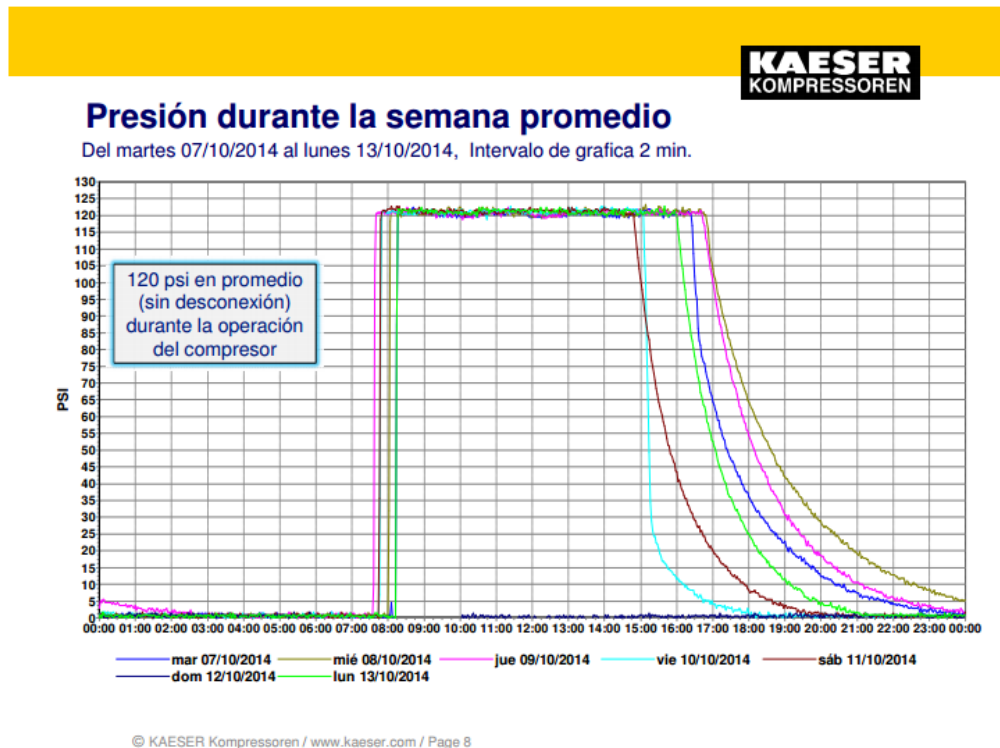


Fuente: Patio 3, Servicio rápido, Ingenio Pantaleón.

Con todos estos problemas que se presentan, es realmente necesaria la creación de una nueva red, analizando, si es necesario, el reemplazo del compresor actual.

Se hizo el análisis de la red actual, a continuación se presentan algunas gráficas para poder entender mejor el comportamiento del sistema.

Figura 27. Gráfica PSI vs Hora compresor antiguo



Fuente: KAESER COMPRESORES, *propuesta Ingenio Pantaleón, patio 3.*

Como se muestra en la gráfica se puede demostrar que las pérdidas de presión por fugas es bastante alta ya que a partir de las 5:00 pm, hora en la que se terminaba la jornada laboral, el aire seguía fugándose, por lo que al siguiente día al arranque del compresor, este debía trabajar de nuevo llenando todo el sistema y esto conlleva gastos innecesarios.

Más adelante se muestran más datos obtenidos con el estudio, datos que ayudarán a dimensionar, tanto la tubería como el compresor.

2.4. Creación de la red de aire comprimido

A continuación, se presenta todo lo referente al rediseño de la red de aire comprimido.

Para el diseño de una red de distribución de aire, se debe tener datos como presión de trabajo, consumo de aire comprimido en el sistema. Estos en algunos casos se hacen sumando teóricamente el consumo de cada equipo conectado al sistema. En la mayoría de los casos, los requerimientos de aire en una red de aire comprimido no varían a no ser de que se instalen nuevos equipos o se deterioren los existentes. Pero en el caso del servicio rápido de Pantaleón, las conexiones se usan para propósitos variados, tales como regulación de presión en llantas, uso de herramientas neumáticas y para limpieza de radiadores, por lo que el consumo de aire comprimido varía según las tareas realizadas y las herramientas conectadas en cada momento.

Para poder hacer el rediseño de la red, se llevó a cabo un estudio para poder evaluar de una manera más confiable los consumos en el área, ya que el estudio mide, por un periodo de 7 días, el consumo en dicha área. Se presentan gráficas en las que se pueden evaluar los máximos y mínimos de consumo, para poder realizar un diseño con variables exactas y precisas.

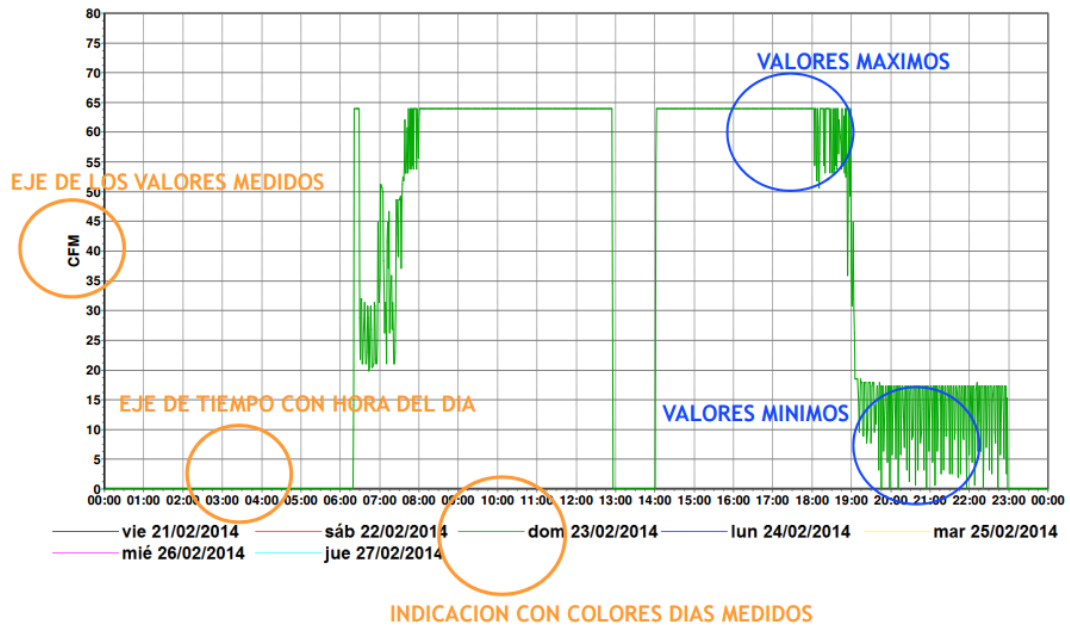
A continuación se presentan los datos obtenidos del estudio realizado:

2.4.1. Estudio del área

Los datos fueron medidos del compresor con las siguientes características:

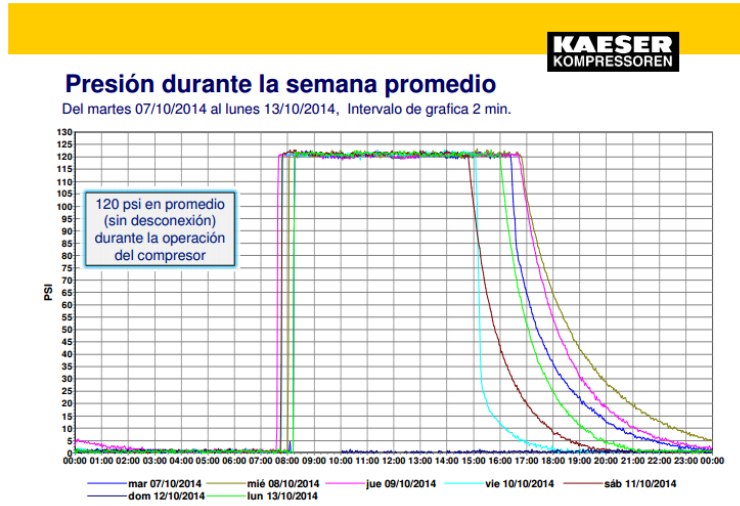
- Marca: KAESER
- Modelo: ASD30
- Entrega de aire: 132 cfm
- Potencia nominal: 30 hp
- Presión: 125 psi

Figura 28. Ejemplo de gráfica



Fuente: KAESER. *Estudio de demanda de aire*, p. 6.

Figura 29. Presión promedio durante la semana de prueba



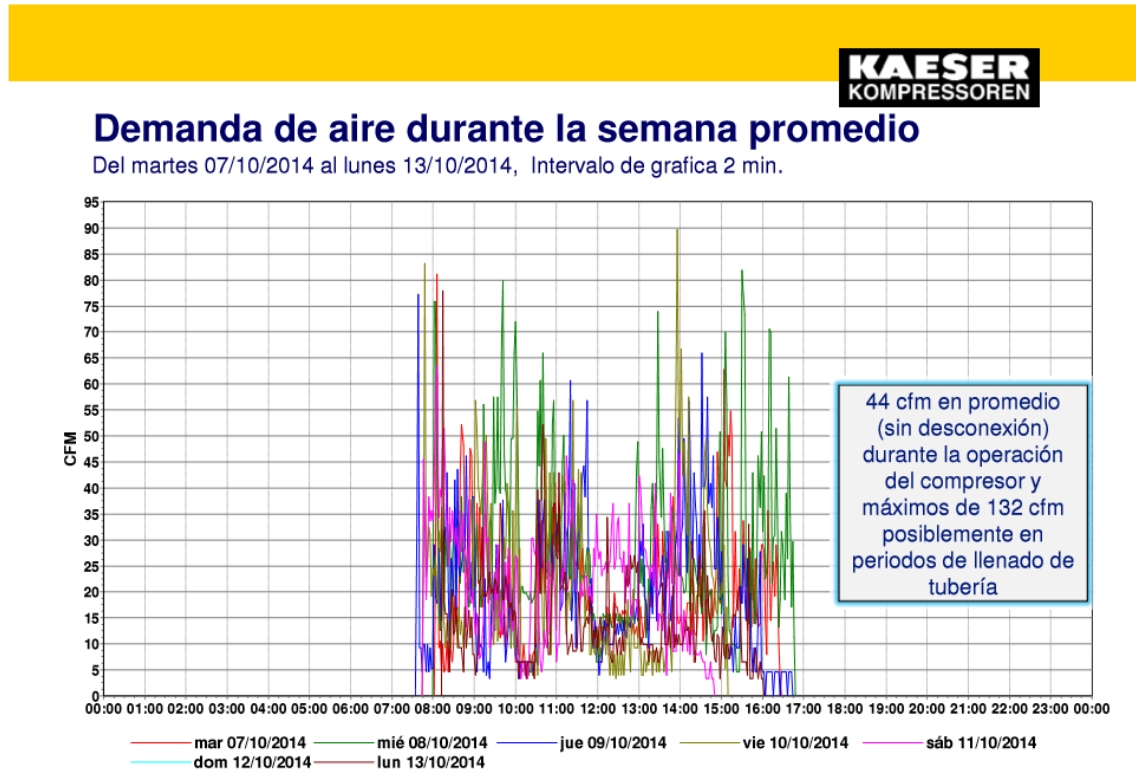
Fuente: KAESER. *Estudio de demanda de aire*, p. 8.

Como ya se mencionó con el estudio realizado, los valores obtenidos son exactos, por lo que se obtuvo una presión promedio de 120 psi (sin desconexión).

El valor a utilizar para el rediseño de la red será de 120 psi, basándonos en los datos del estudio realizado.

Como se puede observar en la gráfica, la presión al momento de apagar el compresor se iba perdiendo gradualmente, esto confirmaba que en el sistema existían demasiadas pérdidas de presión por fugas, por lo que al siguiente día el compresor debía llenar nuevamente las líneas de aire. Esto representa un gasto innecesario.

Figura 30. Demanda de aire durante la semana de prueba Kaeser



Fuente: KAESER. *Estudio de demanda de aire*, p. 9.

Gracias al estudio se determinó que se demanda un promedio de 44 cfm, por lo que este será el dato utilizado para la creación de la nueva red.

Este método es más exacto que hacer una suma de los valores teóricos de cada equipo y herramienta utilizados en el área.

En la gráfica se observan picos mayores al valor promedio, estos son debido a varios factores, estos se pueden abastecer simplemente con un buen almacenaje de aire, sin necesitar un compresor de mayor tamaño.

2.4.2. Rediseño de la red de aire comprimido

Luego de tener los datos necesarios para el diseño correcto de la red de aire comprimido, se procederá a hacer uso de los conocimientos técnicos, basados en los datos anteriormente citados.

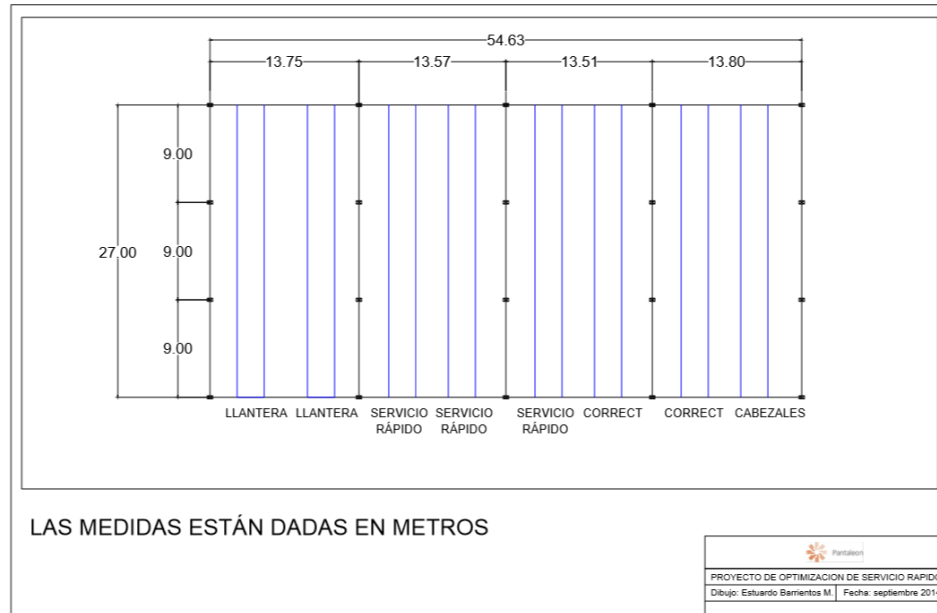
Figura 31. **Área de servicio rápido**



Fuente: Ingenio Pantaleón, S.A.

A continuación, se presenta un plano del área de servicio rápido, en la cual se llevará a cabo el proyecto.

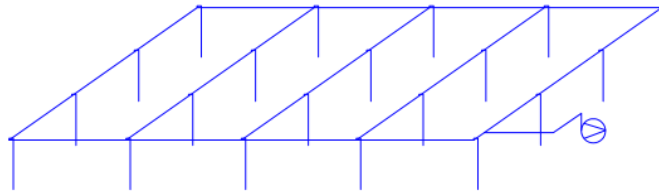
Figura 32. Plano de dimensiones del área



Fuente: elaboración propia, datos medidos directamente en el área con cinta métrica.

Se muestra en la figura 32 el plano vista planta del área de servicio rápido del Ingenio Pantaleón, se tendrá un anillo principal del cual descenderán 20 ramificaciones en total (una por columna), para poder aprovechar toda la infraestructura; como se puede observar, las longitudes son relativamente grandes por lo que es necesario tener el diámetro adecuado para evitar, en lo posible, que las pérdidas por fricción afecten el proceso del área.

Figura 33. **Diagrama del rediseño de la red de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia, con base en figura 32.

2.4.2.1. **Requerimientos de la red**

Para realizar el cálculo del diámetro necesario para mantener una presión ideal en la red de distribución, es necesario saber las características de la red; se debe conocer la presión máxima a la que se desea trabajar, las tolerancias de caídas de presión que se pueden considerar como aceptables dentro de la red sin afectar el funcionamiento y el consumo total de aire en el sistema.

Tabla V. **Requerimientos para dimensionamiento de la red**

Requerimiento	Valor
Presión de trabajo	125 Psi
Caudal	44 cfm
Caída de presión permisible	2 psi

Fuente: elaboración propia.

2.4.2.2. **Cálculo para el anillo principal**

Para determinar el diámetro adecuado para el anillo principal debemos tener los datos requeridos para la siguiente fórmula.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \mathcal{V}^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

Donde:

d_i = diámetro interno del tubo (m)

\mathcal{V} = flujo volumétrico (m^3/s)

L = longitud nominal (m)

Δp = caída de presión (Pa)

p_s = presión del sistema (absoluto, Pa)

2.4.2.2.1. Flujo volumétrico de anillo principal

Tenemos como flujo promedio de la red 44 cfm, según cálculos mostrados anteriormente. Para efectos de cálculo se debe tener el flujo volumétrico en (m^3/s).

$$44 \text{ cfm} * \frac{1 \text{ m}^3/s}{2118,88 \text{ cfm}} = 0,020765687 \text{ m}^3/s \approx 0,0208 \text{ m}^3/s$$

2.4.2.2.2. Longitud nominal de anillo principal

Para hacer el cálculo de la longitud nominal se debe tomar en cuenta la longitud lineal de toda la tubería de la red principal; a esta longitud lineal se le deben sumar las longitudes equivalentes de cada uno de los accesorios que componen el anillo principal.

Con base en la figura 32 y figura 33, se tienen dos líneas de aire comprimido que pasan a lo ancho del área, cada una de 54,63 m y cinco líneas transversales de 27 m cada una; tomando en cuenta que desde la salida del compresor hasta conectarse con la red se tienen 10 m.

$$2(54,63m) + 5(27m) + 10 m = 254 m$$

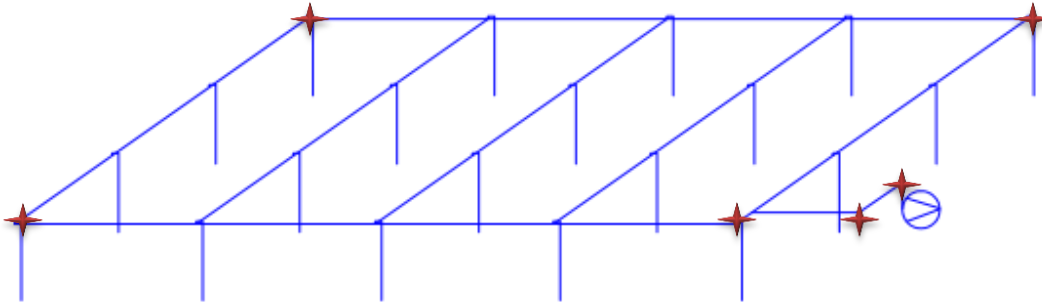
Da como resultado 254 m lineales de tubería. A esto se le debe sumar las longitudes equivalentes de cada uno de los accesorios necesarios para la instalación de la red.

Tabla VI. Longitudes equivalentes en diámetros de tuberías

Tipo	(L/D) _{eq}
Válvula de globo-abierta por completo	340
Válvula de ángulo abierta por completo	150
Válvula de compuerta-abierta por completo	8
¾ abierta	35
½ abierta	160
¼ abierta	900
Válvula de verificación tipo giratoria	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa abierta ,por completo (2 a 8 pulg)	45
10 a 14 pulg	35
16 a 24 pulg	25
Válvula de pie tipo disco de vástago	420
Válvula de pie tipo disco de bisagra	75
Codo estándar de 90	30
Codo de 90 de radio largo	20
Codo roscado a 90	50
Codo estándar a 45	16
Codo roscado a 45	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar con flujo directo	20
Con flujo en el ramal	60

Fuente: Crane Valves, Signal Hill, CA.

Figura 34. **Accesorios anillo principal (codos 90°)**



Fuente: elaboración propia, con base en figura 33.

Como se observa en la figura 34, serán necesarios seis codos 90° para la realización de la red. Se tomará como un diámetro arbitrario inicial de 1 ¼ de pulgada para calcular las longitudes equivalentes, con base en la tabla VI, se tomara el dato para codo roscado a 90°.

$$\frac{L_{eq}}{D} = 50$$

Despejando:

$$L_{eq} = 50 D$$

Sustituyendo datos:

$$L_{eq} = 50 (1,25 \text{ in}) = 62,5 \text{ in}$$

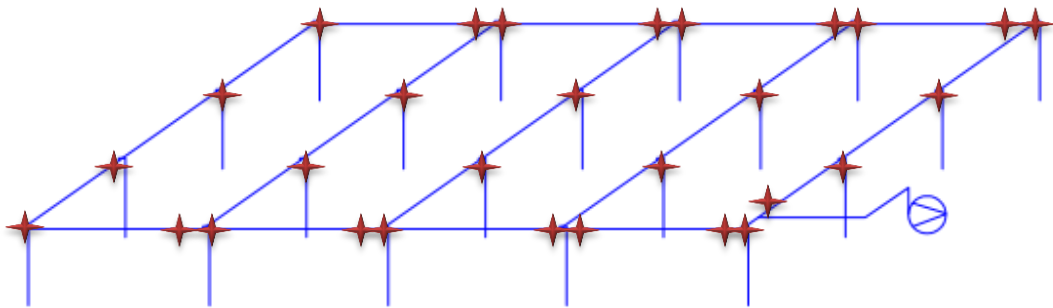
Convirtiendo a metros:

$$L_{eq} = 62,5 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 1,59 \text{ m}$$

Multiplicando por la cantidad de accesorios:

$$L_{eq} = 6 (1,59 m) = 9,54 m$$

Figura 35. **Accesorios anillo principal (Tees)**



Fuente: elaboración propia, con base en la figura 33.

Como se observa en la figura 35, serán necesarias 29 Tees para la realización de la red. Se tomará como diámetro arbitrario inicial de $1 \frac{1}{4}$ de pulgada para calcular las longitudes equivalentes, con base en la tabla VI, se tomará el dato para Te estándar con flujo directo.

$$\frac{L_{eq}}{D} = 20$$

Despejando:

$$L_{eq} = 20 D$$

Se sustituyen datos:

$$L_{eq} = 20 (1,25 in) = 25 in$$

Se convierte a metros:

$$L_{eq} = 25 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 0,63 \text{ m}$$

Se multiplica por la cantidad de accesorios:

$$L_{eq} = 29 (0,63 \text{ m}) = 18,27 \text{ m}$$

Se obtienen los datos de la longitud lineal y las longitudes equivalentes por accesorios; se suman y de esa manera se da como resultado la longitud nominal:

$$L_n = L_l + L_{eq} = 254 \text{ m} + (9,54 \text{ m} + 18,27 \text{ m})$$

Se opera:

$$L_n = L_l + L_{eq} = 254 \text{ m} + (9,54 \text{ m} + 18,27 \text{ m})$$

$$L_n = L_l + L_{eq} = 254 \text{ m} + 27,81 \text{ m}$$

$$L_n = 281,81 \text{ m}$$

2.4.2.2.3. Caída de presión en anillo principal

Para una correcta distribución del aire comprimido es permisible una pérdida de presión máxima del 1,5 % de la presión de trabajo; se presenta a continuación el cálculo para una presión de trabajo de 125 psi.

$$P_s = 125 \text{ psi} * \frac{1 \text{ Pa}}{0,000145} = 861 \ 844,6 \text{ Pa}$$

Se encuentra Δp :

$$\Delta P = (861 \ 844,6 \text{ Pa}) * 1.5 \% = 12 \ 927,67 \text{ Pa}$$

Se obtienen todos los datos necesarios y se procede a sustituirlos en la formula.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \mathcal{V}^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

Donde:

d_i = diámetro interno del tubo (m)

\mathcal{V} = flujo volumétrico (m^3/s)

L = longitud nominal (m)

Δp = caída de presión (Pa)

p_s = presión del sistema (absoluto, Pa)

Se sustituye:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times 0,0208 \text{ m}^3/s^{1,85} \times 281,81 \text{ m}}{12\,927,67 \text{ Pa} \times 861\,844,6 \text{ Pa}}}$$

Se opera:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1\,600 \times 0,000773423 \text{ m}^3/s \times 281,81 \text{ m}}{11\,141\,642\,580,082 \text{ Pa}}}$$

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{347,7310}{11\,141\,642\,580,082 \text{ Pa}}}$$

$$d_i = 0,0315397 \text{ m}$$

$$d_i = 0,0315397 \text{ m} * \frac{1 \text{ in}}{0,0254} = 1,2417 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

Se determina una tubería de 1 ¼ pulgadas para la creación del anillo principal. Ya que se había tomado como valor arbitrario para las longitudes equivalentes el mismo valor, se puede concluir que es el valor apropiado para la creación del anillo principal.

2.4.2.3. Cálculo para ramificaciones

Para calcular el diámetro adecuado de las ramificaciones, se llevará a cabo el mismo procedimiento que se utilizó para el anillo principal.

2.4.2.3.1. Flujo volumétrico de ramificaciones

Se tiene como flujo promedio de la red 44 cfm, según cálculos mostrados anteriormente. Para efectos de cálculo se debe tener el flujo volumétrico en (m³/s).

$$44 \text{ cfm} * \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \ 118,88 \text{ cfm}} = 0,020765687 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,0208 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.4.2.3.2. Longitud nominal de ramificaciones

Para las ramificaciones la longitud a tomar en cuenta es a partir de la “te” que da salida del anillo principal hasta las unidades FRL.

Se tomará en cuenta la longitud lineal de las tuberías y la longitud equivalente de los accesorios en las ramificaciones.

Con base en la figura 36, se determina la longitud lineal de la tubería es:

$$L_l = 0,2 m + 0,8 m + 5 m = 6 m$$

Figura 36. **Diseño de ramificaciones**



Fuente: elaboración propia.

Para la ramificación debemos calcular la longitud equivalente para los accesorios en este caso: 2 codos y 1 te con flujo en el ramal. Se tomará un diámetro arbitrario de 3/4 in. Para cálculos de longitud equivalente.

Cálculo para codo 90°:

$$\frac{L_{eq}}{D} = 50$$

Se despeja:

$$L_{eq} = 50 D$$

Se sustituyen datos:

$$L_{eq} = 50 (0,75 \text{ in}) = 37,5 \text{ in}$$

Se convierten a metros:

$$L_{eq} = 37,5 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 0,95 \text{ m}$$

Se multiplican por la cantidad de accesorios:

$$L_{eq} = 2 (0,95 \text{ m}) = 1,90 \text{ m}$$

Cálculo para Te con flujo en el ramal:

$$\frac{L_{eq}}{D} = 60$$

Se despeja:

$$L_{eq} = 60 D$$

Se sustituyen datos:

$$L_{eq} = 60 (0,75 \text{ in}) = 45 \text{ in}$$

Se convierten a metros:

$$L_{eq} = 45 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 1,14 \text{ m}$$

Se encuentra la longitud nominal de una ramificación:

$$L_n = l_l + l_{eq} = 6 \text{ m} + 190 \text{ m} + 1,14 \text{ m}$$
$$L_n = 9,04 \text{ m}$$

Debido a que todas las ramificaciones tienen el mismo diseño se encontrara la longitud nominal de todas las ramificaciones multiplicando el valor de una ramificación por el número de ramificaciones de la red.

Entonces:

$$L_n = 20 * (9,04 \text{ m}) = 180,8 \text{ m}$$

2.4.2.3.3. Caída de presión en ramificaciones

Para una correcta distribución del aire comprimido es permisible una pérdida de presión máxima del 1,5 % de la presión de trabajo; se presenta a continuación el cálculo para una presión de trabajo de 125 psi.

$$P_s = 125 \text{ psi} * \frac{1 \text{ Pa}}{0,000145} = 861 \text{ 844,6 Pa}$$

Se encuentra Δp :

$$\Delta P = (861 \text{ 844,6 Pa}) * 1,5 \% = 12 \text{ 927,67 Pa}$$

Con todos los datos para el cálculo se procede a sustituir en la fórmula.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \mathcal{V}^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

Donde:

d_i = diámetro interno del tubo (m)

\mathcal{V} = flujo volumétrico (m^3/s)

L = longitud nominal (m)

Δp = caída de presión (Pa)

p_s = presión del sistema (absoluto, Pa)

Se sustituyen:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times 0,0208 \text{ m}^3/s^{1,85} \times 180,8 \text{ m}}{12\,927,67 \text{ Pa} \times 861\,844,6 \text{ Pa}}}$$

Se opera:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1\,600 \times 0,000773423 \text{ m}^3/s \times 180,8 \text{ m}}{11\,141\,642\,580,082 \text{ Pa}}}$$

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{223,7358}{11\,141\,642\,580,082 \text{ Pa}}}$$

$$d_i = 0,0288773 \text{ m}$$

$$d_i = 0,0288773 \text{ m} * \frac{1 \text{ in}}{0,0254} = 1,13 \text{ in} \approx 1/2 \text{ in}$$

Dado los cálculos las ramificaciones serán de tubería de ½ pulgada.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Planificación

La fase de docencia no pudo realizarse durante el tiempo de zafra debido a la alta demanda de trabajo en el área, por lo que se planificó para el final de la misma.

La capacitación se impartirá al personal que labora en el servicio rápido, en la cual se tocarán temas como la importancia del buen manejo del aire comprimido, importancia de eliminación de fugas de aire, entre otros.

Tabla VII. **Cronograma de presentación de docencia**

Actividad	Tiempo estimado (min)
Bienvenida	5
Introducción	15
Importancia del buen uso de aire comprimido	15
Importancia de eliminar fugas	15
Presentación de mejoras	15
Agradecimientos y despedida	5

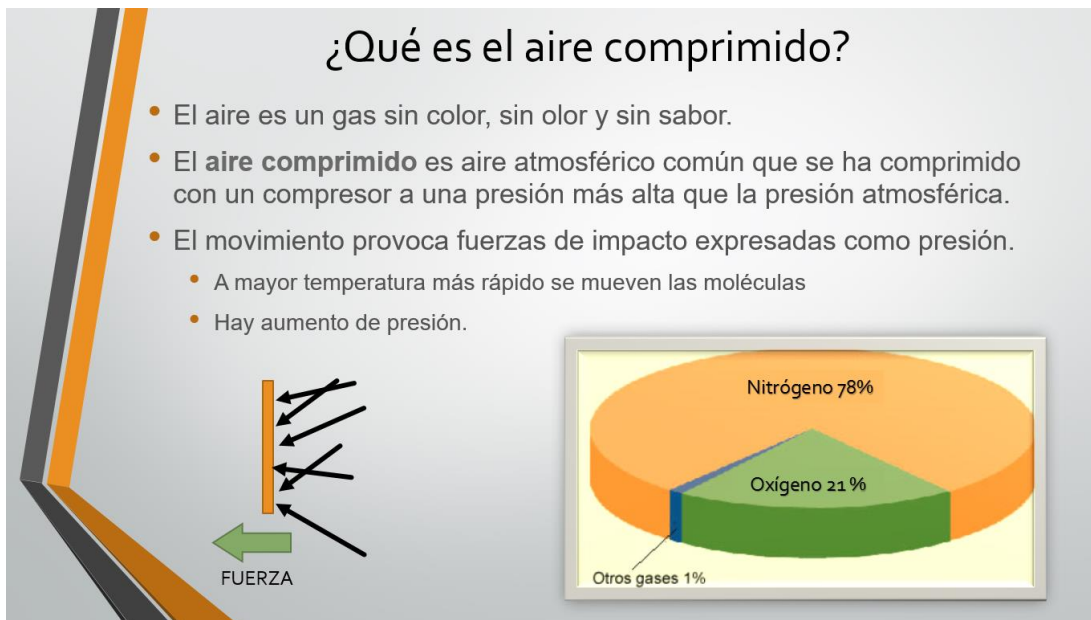
Fuente: elaboración propia.

Se planifica con los supervisores de área la presentación para el día martes 9 de junio de 2015, a las 11:00 am.

3.2. Introducción al tema de aire comprimido

En este tiempo se dio al personal una idea básica del aire comprimido, resolviendo dudas acerca de la generación de aire comprimido, compresores, unidades de mantenimiento. Y el funcionamiento e importancia de cada elemento de la red instalada.

Figura 37. ¿Qué es el aire comprimido?



Fuente: elaboración propia.

3.3. Importancia del buen manejo del aire comprimido

El aire comprimido es uno de los medios de energía más utilizados en industria, muchas personas tienen el paradigma de que el aire comprimido es gratis, lo que es una forma errónea de pensar ya que el aire comprimido, como bien es cierto, no es más que el aire del ambiente comprimido por medio de una

máquina compresora, esta máquina compresora deberá utilizar otro tipo de energía para funcionar, lo que normalmente implica un gasto en el momento de generar aire comprimido; dependiendo del mantenimiento que reciba el compresor este consumirá menos energía y podrá comprimir más aire, pero nunca el aire comprimido será gratis.

Por lo que saber el buen manejo del aire comprimido ayudará a la empresa a disminuir costos de operación, creando conciencia en el personal para hacer un buen uso del recurso y manejándolo responsablemente.

En la mayoría de empresas, muchos utilizan el aire comprimido de manera irresponsable, utilizándolo para limpiar sus prendas de vestir, limpiar el suelo, dejando conectadas herramientas que ya no serán utilizadas, no cerrando las llaves de paso correspondientes, no liberando periódicamente el condensado, entre otros, lo que se verá reflejado en los costos por generar aire comprimido que no está siendo utilizado en el debido proceso para el cual fue instalado.

Figura 38. Capacitación del personal



Fuente: Ingenio Pantaleón, S.A.

3.4. Importancia de eliminar fugas de aire

Como se ha enfatizado anteriormente, el aire comprimido no es gratis, por lo que tener fugas de aire, tanto en la red de distribución como en las herramientas y equipo que hacen uso de este, genera costos innecesarios.

Por lo que, con la capacitación se logró crear conciencia en los mecánicos para que hagan un buen uso del recurso, explicándoles la teoría básica del aire comprimido, y el por qué un desperdicio del mismo puede afectar a la empresa.

Con esto se pretende que los mecánicos hagan reportes de fugas en el momento de ser detectadas para poder dar el mantenimiento necesario a la sección y evitar que la fuga cree problemas.

En la sección 1.5 de esta tesis se probó que las pérdidas monetarias por fugas son bastante significativas por lo que capacitar al personal en el tema, podrá ayudar a que sea más eficientes.

3.5. Presentación de mejoras

Se hizo la presentación de mejoras a los encargados del área, en la cual se presentaron los costos de inversión para realizar el proyecto, y los resultados finales con visitas al área en donde se llevó a cabo el proyecto.

El nuevo compresor fue reubicado en un lugar adecuado para trabajar más eficientemente, un lugar ventilado, cubierto con un techo, aislado del personal, al cuarto solo tiene acceso el encargado del área, para evitar que la configuración del compresor sea cambiada, caso que se daba en la antigua ubicación del compresor a la que cualquier persona tenía acceso.

Con la nueva red de distribución se logró eliminar las fugas mencionadas anteriormente; las herramientas trabajan de mejor manera gracias a los lubricadores instalados, trabajan a una presión adecuada gracias a los filtros reguladores instalados, los cuales se mantienen a 90 psi, presión recomendada generalmente para herramientas neumáticas.

La presión en la red se mantiene dado que el diámetro de la tubería se aumentó de manera que la pérdida por fricción no afectara la presión en las conexiones más alejada del compresor.

Se dejó una conexión libre antes de las unidades de mantenimiento, esta únicamente para la calibración de llantas, ya que al tener la presión del sistema, la calibración puede hacerse de mejor manera. Solucionando de esta manera el problema que se daba cuando la presión de las llantas era mayor que la del sistema y las llantas perdían calibración, causando mayor desgaste en las mismas.

Figura 39. **Cuarto de compresor**



Fuente: Ingenio Pantaleón, S.A.

En la figura 34 se muestra el nuevo cuarto de compresor, en el que tiene espacio suficiente para aspirar aire más limpio que el antiguo compresor, con puerta a la que solo tiene acceso el supervisor del Servicio Rápido, para evitar que el personal no autorizado modifique la configuración del compresor.

Figura 40. **Unidades FRL y conexiones generales**



Fuente: Ingenio Pantaleón, S.A.

En la figura 35 se muestra la imagen de la disposición de las unidades FRL y las conexiones: 1) Se dejó una conexión antes de las unidades FRL, ya que será utilizada únicamente para calibración de llantas, en la que se necesita una presión mayor a 100 psi, para hacer una calibración correcta. 2) Conexión de presión regulada a 90 psi, para usos varios en los que se requiere aire libre de aceite. 3) Conexiones con presión regulada a 90 psi y lubricadas para uso de herramientas neumáticas.

Figura 41. **Derivación cuello de ganso**



Fuente: Ingenio Pantaleón, S.A.

En la figura 36 se muestra que a diferencia de la instalación antigua, en la nueva red de aire comprimido se empleó la derivación en cuello de ganso para evitar que la condensación llegue a las herramientas, habilitando tuberías para purga en lugares específicos de la red para drenar el condensado.

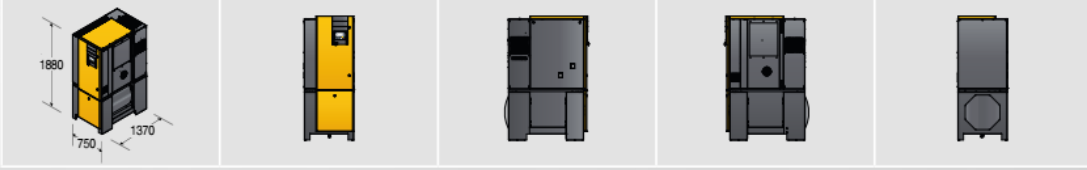
3.5.1. Datos técnicos del compresor instalado en nueva red

Se muestra en la siguiente figura los datos técnicos del compresor *Kaeser SK15-Aircenter*.

Figura 42. Datos técnicos del compresor *Kaeser SK15-Aircenter*

AIRCENTER – versión básica

Modelo	Presión de trabajo	Caudal*) Paquete completo a la presión de trabajo	Presión máxima de trabajo	Potencia nominal del motor	Potencia consumida secador refrig.	Volumen tanque de almacenamiento	Punto de rocío	Dimensiones L x A x A	Conexion de aire comprimido	Nivel de presión sonora**)	Peso
	psi		psi	hp	kW		°C				
AIRCENTER SK 15	110	71,0	125	15	0,5	350	+3	750 x 1370 x 1880	G 1	66	579
	145	59,3	160								
	190	46,6	217								
AIRCENTER SK 20	110	88,6	125	20	0,5	350	+3	750 x 1370 x 1880	G 1	67	587
	145	77,0	160								
	190	63,2	217								



Fuente: *Kaeser, Compresores de tornillo SK, Datos Técnicos, p. 8.*

Siendo el consumo promedio 44 cfm, se abastece de manera adecuada la red ya que el compresor entrega 71 cfm a una presión máxima de trabajo de 125 psi.

El compresor cuenta con un sistema de secador refrigerativo y un tanque de almacenamiento de 350 litros.

CONCLUSIONES

1. Con el nuevo diseño de la red de distribución de aire comprimido se logró eliminar atrasos en el proceso de mantenimiento de equipos de arrastre.
2. Con el nuevo compresor se logró abastecer adecuadamente todas las herramientas del área.
3. Al tener un diámetro adecuado en la tubería de la red de distribución, tomando en cuenta las pérdidas, se logra tener una presión ideal en cada una de las conexiones.
4. Teniendo un circuito cerrado se logra mantener una presión relativamente constante.
5. Observando los resultados del estudio de pérdida energética por fugas en el sistema, es posible proponer un proyecto rentable para la empresa, dado que esa pérdida económica se puede convertir en inversión al rediseñar la red.
6. Se realizó un estudio de ahorro energético en base a no desperdiciar aire en fugas, dicho estudio comprobó que se estaba desperdiciando una considerable cantidad de dinero en fugas.
7. Haber dejado una conexión libre para la calibración de llantas, mejoró dicho proceso. Ver Figura 35.

RECOMENDACIONES

1. Asignar a una persona encargada de configurar el compresor, teniendo acceso al cuarto de compresor, para evitar ajustes incorrectos.
2. Mantener en capacitación constante al personal que hace uso de aire comprimido en el área.
3. Concientizar al personal a hacer un buen uso del aire para evitar costos en generación de aire comprimido.
4. De ser necesario hacer ramificaciones adicionales, hacer un estudio para el diseño de estas, para evitar que la red vuelva a ser obsoleta.
5. Mantener un programa de mantenimiento preventivo, tanto para la red como a herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ATLAS COPCO. *Manual del aire comprimido 2011*. 7a ed. Bélgica: Atlas Copco Airpower NV, 2011. 144 p. ISBN: 9789081535809
2. BAUMEISTER T. y otros. *Manual del ingeniero Mecánico*. 8a ed. México: Editorial McGraw Hill, 1987. 2000 p.
3. CREUSE, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, Mayo 2012. 792 p. ISBN: 978-607-707-042-9.
4. MALDONADO CONDE, Marco Vinicio. *Rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de equipo de cocina y panadería Res-O-Pan S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 69 p.

