



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA

Andrea María Estrada Moscozo

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, marzo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN
TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANDREA MARÍA ESTRADA MOSCOZO

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, MARZO DE 2024



Guatemala, 13 de noviembre de 2023
REF.EPS.DOC.507.11.2023

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) de la estudiante universitaria de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **Andrea María Estrada Moscozo, Registro Académico No. 201807175**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA**.

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. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

NISZ/ns



Guatemala, 13 de noviembre de 2023
REF.EPS.DOC.507.11.2023

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) de la estudiante universitaria de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **Andrea María Estrada Moscozo, Registro Académico No. 201807175**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA.**

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. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

NISZ/ns



Guatemala 13 de noviembre de 2023.
REF.EPS.D.508.11.23

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) titulado, IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA

que fue desarrollado por la estudiante universitaria, **ANDREA MARÍA ESTRADA MOSCOZO**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.031.2024

El Revisor 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: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA** de la estudiante **ANDREA MARÍA ESTRADA MOSCOZO**, CUI 3041101240111, **Registro Académico 201807175** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id Y Enseñad a todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor – Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2024
/aej



SIST.LNG.DIRECTOR.12.EIM.2024

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, el visto bueno del Coordinador de área, al trabajo de graduación titulado: **Implementación de sistema neumático en taller mecánico automotriz Estrada**, presentado por: **Andrea María Estrada Moscozo**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Una firma manuscrita en tinta azul y un sello circular de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.155.2024

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: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA**, presentado por: **Andrea María Estrada Moscozo** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, abril de 2024



Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 155 CUI: 3041101240111

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO EN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ ESTRADA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería mecánica, con fecha 9 de agosto de 2023.



Andrea María Estrada Moscozo

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el centro de mi vida ya que por su inmensa misericordia, amor y bendición esto es posible.

Mis padres

Ana María Moscozo y Jorge Francisco Estrada. Pilares que me dieron vida, quitando parte de la suya para que yo lograré mis metas, apoyándome en todo momento con su amor, esfuerzo y dedicación.

Mis hermanos

Naydelin y Jorge Estrada. Por brindarme su apoyo en todo momento y motivarme a seguir adelante.

Mis abuelos

Rosa Leticia García, Ana Victoria Ruíz, Emiliano Estrada y Juan María Moscozo. Porque tienen las palabras correctas y consejos adecuados para motivarme en cada momento.

Mi familia

Por ayudarme a cumplir mis metas y estar pendientes en este proceso de formación académica y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por acogerme en sus instalaciones y brindarme
catedráticos que gustosamente compartieron
sus conocimientos conmigo.

Facultad de ingeniería

Por brindarme las herramientas necesarias para
mi formación académica.

Ingenieros docentes

Por corregirme cuando estaba en algún error y a
la vez motivarme a seguir firme en cada curso de
la carrera.

**Taller mecánico
automotriz Estrada**

Por confiar en mí y abrirme las puertas de sus
instalaciones para realizar este proyecto.

Mis amigos

Por su apoyo y brindarme palabras de aliento
para no rendirme.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación de la empresa	2
1.1.2. Historia	3
1.1.3. Misión	4
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Valores	5
1.2. Descripción del problema	5
2. AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS NEUMÁTICOS	7
2.1. Pilares del ahorro energético en sistemas neumáticos	8
2.1.1. Presión	8
2.1.1.1. Estandarización de presión en el sistema de distribución	9
2.1.1.2. Ajustes de presión en el sistema de compresión	10
2.1.2. Sectorización	10

2.1.2.1.	Interrupción de aire comprimido en áreas no productivas	11
2.1.3.	Monitorización	11
2.1.3.1.	Fugas de aire comprimido	12
2.1.4.	Calidad del aire	14
2.1.4.1.	Limpieza de tuberías	16
2.1.4.2.	Limpieza de purgadores y unidad de mantenimiento.....	16
2.1.4.3.	Limpieza de depósito acumulador.....	17
2.2.	Reducción de energía por sobredimensionamiento del sistema neumático	18
2.3.	Corrección de fugas de aire comprimido.....	19
2.4.	Concientización del costo del aire comprimido	21
2.4.1.	Uso inapropiado de aire comprimido	22
2.5.	Disminución de caídas de presión	23
2.5.1.	Determinación de las causas de alta caída de presión	24
2.6.	Estrategia de control del sistema neumático	24
2.6.1.	Control en compresores	25
2.6.1.1.	Control Prendido / Apagado	26
2.6.1.2.	Control Carga / Sin carga	26
2.6.1.3.	Control por variadores de frecuencia (VFD).....	27
2.6.1.4.	Secuenciadores.....	27
3.	IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO.....	29
3.1.	Diseño de la red de distribución de aire comprimido.....	30
3.1.1.	Selección de red de distribución.....	31
3.1.1.1.	Red abierta.....	31

3.1.1.2.	Red cerrada	34
3.1.2.	Selección de la clase de tubería	35
3.1.2.1.	Tuberías rígidas	36
3.1.2.2.	Tuberías semirrígidas	37
3.1.2.3.	Tuberías flexibles	38
3.2.	Planos de diseño para red de distribución de aire comprimido	39
3.3.	Cálculo de compresor	44
3.3.1.	Cálculo de cargas por equipo	44
3.3.1.1.	Pistola de impacto	45
3.3.1.2.	Ratcher neumático	46
3.3.1.3.	Martillo neumático de impacto	46
3.3.1.4.	Máquina desmontadora de llantas	47
3.3.1.5.	Bomba neumática para pinchazo	48
3.3.1.6.	Inflador de neumáticos	48
3.3.1.7.	Engrasadora neumática	49
3.3.1.8.	Pistola de <i>flushing</i>	50
3.3.1.9.	Pistola para pintar	51
3.3.1.10.	Pistola de soplado	52
3.3.1.11.	Pistola de lavado aire agua	53
3.3.2.	Cálculo de la presión	54
3.3.3.	Cálculo del caudal	56
3.3.4.	Cálculo de diámetro de tubería	58
3.4.	Instalación de tuberías principales, secundarias y de servicio	70
3.5.	Instalación de unidad de mantenimiento	74
3.6.	Instalación de compresor y depósito acumulador de aire comprimido	76
3.7.	Costo e inversión en el sistema neumático	78

4.	MANEJO DE STOCK DE REPUESTOS.....	81
4.1.	Puntos de vista para el manejo de stock.....	84
4.1.1.	Punto de vista técnico	85
4.1.2.	Punto de vista económico	86
4.2.	Criterios para el manejo de stock de repuestos	87
4.2.1.	Importancia del repuesto o insumo	88
4.2.2.	Necesidad de existencia.....	90
4.3.	Control y ubicación de repuestos	92
4.3.1.	Inventario de repuestos	93
4.3.1.1.	Formato para inventario de repuestos.....	96
4.3.2.	Ubicación estratégica	99
4.3.2.1.	Rotulación de ubicación de repuestos.....	100
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES	103
	REFERENCIAS	105
	APÉNDICES.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Red en circuito abierto	33
Figura 2.	Red en circuito cerrado.....	34
Figura 3.	Plano de línea principal y secundaria de aire comprimido	40
Figura 4.	Plano del sistema neumático	41
Figura 5.	Plano de compresor.....	42
Figura 6.	Plano de línea de servicio de aire comprimido	43
Figura 7.	Instalación de tuberías.....	71
Figura 8.	Instalación de tuberías de servicio y drenaje	72
Figura 9.	Pernos de anclaje	77
Figura 10.	Ejemplo de rotulación de ubicación de repuestos.....	100

TABLAS

Tabla 1.	Pérdida de aire comprimido y potencia.....	13
Tabla 2.	Especificaciones técnicas de pistola de impacto	45
Tabla 3.	Especificaciones técnicas de ratchet neumático.....	46
Tabla 4.	Especificaciones técnicas de martillo neumático de impacto.....	47
Tabla 5.	Especificaciones técnicas para máquina desmontadora de llantas	47
Tabla 6.	Especificaciones técnicas para bomba neumática para pinchazo	48
Tabla 7.	Especificaciones técnicas para inflador de neumáticos	49
Tabla 8.	Especificaciones técnicas de engrasadora neumática	50

Tabla 9.	Especificaciones técnicas para pistola de flushing	51
Tabla 10.	Especificaciones técnicas para pistola para pintar	52
Tabla 11.	Especificaciones técnicas para pistola de sopleteado.....	53
Tabla 12.	Especificaciones técnicas para pistola de lavado aire agua.....	53
Tabla 13.	Presión requerida por herramienta.....	55
Tabla 14.	Caudal requerido por herramienta.....	57
Tabla 15.	Factor de simultaneidad	57
Tabla 16.	Pérdida de presión en accesorios	60
Tabla 17.	Factor de pérdida (F).....	62
Tabla 18.	Datos iniciales	64
Tabla 19.	Datos iniciales para primera iteración.....	65
Tabla 20.	Longitud equivalente para accesorios de tubería principal.....	66
Tabla 21.	Longitud equivalente para accesorios de tubería secundaria.....	66
Tabla 22.	Longitud equivalente para accesorios de tubería de servicio	67
Tabla 23.	Distancia entre soportes de tubería.....	73
Tabla 24.	Cotización de compresor	78
Tabla 25.	Cotización de equipos para sistema neumático	79
Tabla 26.	Cotización de materiales para red de distribución	79
Tabla 27.	Control de inventario según clasificación ABC	94
Tabla 28.	Comparación de tipos de revisión de stock	96
Tabla 29.	Formato para hoja de inventario de stock de repuestos.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bar	Bar
hp	Caballos de fuerza
c/u	Cada uno
\$	Dólar
Equi.	Equivalente
gpm	Galón por minuto
°	Grados
°C	Grados Celsius
kW	Kilowatt
kW h	Kilowatt hora
psi	Libra por pulgada cuadrada
L.	Longitud
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³ /min	Metro cúbico por minuto
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
min.	Mínimo
ft	Pies
lb-ft	Pies-libra fuerza
CFM	Pies cúbicos por minuto
%	Porcentaje
“	Pulgadas

Pol	Pulgadas
In	Pulgadas
Q	Quetzal
V	Voltio

GLOSARIO

ABS	Sigla de <i>Anti-blokier-system</i> que en español significa sistema antibloqueo. Este es un sistema electrónico de control que evita el bloqueo de las ruedas de un vehículo por exceso de frenado.
Biela	En motores de combustión esta pieza une el pistón al cigüeñal y tiene la función de transformar movimientos lineales en movimientos de rotación, o viceversa.
Bujía	Elemento que produce una chispa con la finalidad de encender la mezcla de combustible y oxígeno contenida en los cilindros de un motor de combustión interna.
<i>Common rail</i>	Traducido del inglés como riel común, este es un sistema electrónico de inyección diésel que utiliza inyección directa por medio de un conducto común que alimenta con combustible todos los inyectores.
Corroen	Conjugación del verbo corroer. Desgaste que se produce lentamente en los cuerpos metálicos.
Efecto Venturi	Fenómeno por el cual la presión de un fluido disminuye y a su vez aumenta su velocidad, esto producido al pasar por un estrechamiento de sección.

Eficiencia	Capacidad de alcanzar los resultados esperados con el mínimo de recursos y tiempo posible.
Energía mareomotriz	Energía que aprovecha las mareas para producir energía eléctrica. Esta generación de energía depende del cambio de altura del agua, este producido por la gravitación del sol y la luna.
Energía undimotriz	También llamada energía olamotriz. Este tipo de energía aprovecha el movimiento de las olas producidas en la superficie del mar para generar energía eléctrica.
Fatiga muscular	Efecto que se produce al sobrecargar algún músculo del cuerpo, es decir, cuando se realizan actividades que requieren un esfuerzo físico mayor al normal. Esta lesión produce dolor muscular, debilidad, disminución del rendimiento físico, entre otras.
Flujómetro	También conocido como caudalímetro y es un instrumento empleado para medir el caudal de un fluido.
FRL	Hace referencia a la unidad de mantenimiento, utilizando la primera letra de sus componentes: Filtro, Regulador y Lubricador.
Idóneo	Término utilizado para indicar que algo o alguien es adecuado y apropiado para realizar algo.

Kilowatt hora	Unidad empleada para medir el consumo de energía y significa que se consumen mil watts durante una hora.
NPT	acrónimo del inglés <i>National Pipe Thread</i> que en español significa rosca nacional de tuberías.
Obsolescencia	Estado que adquiere un producto u objeto cuando ha finalizado su periodo de vida útil.
Planos	Representación gráfica en dos dimensiones y a escala de un objeto, elemento, máquina, inmueble, terreno, entre otros.
Polipasto	Máquina o instrumento empleado para levantar cargas pesadas utilizando fuerzas menores, este está compuesto, comúnmente, por dos poleas y un cable o cadena que une las poleas.
Precipita	Conjugación de la palabra precipitación que consiste en la caída del agua condensada dentro de un recipiente, tubería o incluso, de la atmosfera.
Presostato	También llamado interruptor de presión y es un dispositivo utilizado para abrir o cerrar un circuito eléctrico, este dependiendo de la presión establecida.

PVC	Siglas del inglés <i>Polyvinyl chloride</i> que en español significa Policloruro de Vinilo. Este material forma parte de la familia de los materiales polímeros.
Sistema de dirección	Conjunto de elementos que tienen la finalidad de dar dirección a las ruedas delanteras de un vehículo, estos accionados desde el volante del mismo.
Sistema de suspensión	Sistema que tiene la finalidad de mantener las ruedas del vehículo sobre tierra, esto se logra por medio de la absorción de las desigualdades del terreno y vibraciones.
Sostenible	Conjugación de la palabra sostenibilidad, que se refiere a la satisfacción de las necesidades de las actuales generaciones, pero sin perjudicar la capacidad de las generaciones futuras, es decir, cubrir las necesidades, pero sin contaminar ni agotar los recursos naturales.
Stock	Traducido del inglés como existencias y se refiere específicamente a los productos guardados en un almacén.
Sustentable	Conjugación de la palabra sustentabilidad, esta se entiende como un proceso que busca encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales, tomando como parámetros centrales lo económico, social y ambiental.

Talón de llanta	Parte de un neumático que tiene contacto, de forma firme y segura, con el aro del mismo.
Termostato	Elemento encargado de regular el flujo de refrigerante dentro de un motor de combustión, esto se consigue por medio de la apertura del dispositivo cuando la temperatura del fluido aumenta, dejando así que este circule libremente del motor hacia el radiador.
Tramo de tubería	Porción de tubería comprendida entre dos puntos pertenecientes a una red de tuberías.
Trinquete	Mecanismo que permite el movimiento de un engranaje hacia un lado, pero lo restringe si es contrario al establecido. El sentido de giro se establece por medio de un elemento que se sujeta con el engranaje y no permite su movilidad.
<i>Tune Up</i>	En español significa puesta a punto y el término es empleado cuando se realiza gran cantidad de mantenimiento preventivo a un vehículo.
VOSO	Técnica del monitoreo de condición que su nombre se deriva de las iniciales de Ver, Oír, Sentir y Oler. Esta herramienta utiliza los sentidos del operario o técnico de mantenimiento para detectar alguna falla en un equipo.

Zapatas de freno

Piezas curvas de metal recubiertas de material de fricción, que al ser presionadas contra el tambor de los frenos paran el vehículo.

RESUMEN

El presente trabajo contiene información referente a la implementación de un sistema neumático y el manejo de stock de repuestos. Para un mejor entendimiento está dividido en cuatro capítulos.

El capítulo I brinda información de la empresa en donde se implementará el sistema, en él se describe la ubicación, historia, misión, visión y valores practicados dentro de la misma, y para entrar en contexto se describe la problemática del Taller Mecánico Automotriz Estrada.

En el capítulo II se proponen métodos que ayudan a ahorrar energía en los sistemas neumáticos, estos basados en los pilares del ahorro energético y utilizando técnicas de concientización del uso inapropiado del aire y el ahorro económico obtenido al mantener un sistema libre de fugas. También da a conocer algunas estrategias que se podrían utilizar en los compresores para reducir el consumo de energía y aumentar la vida útil de los equipos.

El capítulo III detalla el diseño del sistema neumático a implementar, desde la selección del tipo de red de distribución, material de la tubería, proceso de cálculo para determinar el diámetro de las tuberías y el tamaño del compresor, hasta los planos del diseño y la instalación de cada componente. También se encuentra un desglose de costos de inversión.

Por último, el capítulo IV contiene información sobre el manejo de stock de repuestos, en el cual se encuentran los puntos de vista para manejar un stock de

repuestos, los criterios que hay que tomar en cuenta para poder manejarlo, y como poder controlar y ubicar estratégicamente los productos.

OBJETIVOS

General

Implementar un sistema neumático en Taller Mecánico Automotriz Estrada.

Específicos

1. Investigar sobre el ahorro energético, enfocado a los sistemas neumáticos, con la finalidad de implementar un sistema neumático eficiente.
2. Diseñar un sistema neumático que satisfaga las necesidades del taller mecánico automotriz Estrada.
3. Elaborar los planos necesarios del diseño de la red de distribución de aire comprimido para su instalación, tomando en cuenta la infraestructura del establecimiento.
4. Obtener por medio de cálculos matemáticos las dimensiones adecuadas de la tubería que conducirá aire comprimido, la demanda de aire, presión de trabajo y potencia del compresor.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una fuente de energía que conforme el tiempo ha adquirido popularidad, debido a que la materia prima, aire atmosférico, es de fácil acceso y sin costo. Los talleres mecánicos han adoptado esta fuente de energía ya que es segura y eficientiza los procesos de mantenimiento.

En un taller mecánico se realizan actividades que podrían consumir aire comprimido, por lo que existe la necesidad que en el taller mecánico automotriz Estrada se pueda contar con un sistema neumático que apoye sus operaciones de mantenimiento.

Todo sistema neumático debe ser diseñado de acuerdo con las necesidades de operación, es por ello que el conocimiento de un ingeniero mecánico es importante, ya que él es el encargado de diseñar, elegir, dimensionar e instalar el sistema.

El aire comprimido generado por el sistema neumático abastecerá herramientas de uso automotriz como: pistola de impacto, ratchet neumático, taladro neumático, pistola para pintar, pistola de soplado, pistola para limpieza, pistola de lavado aire agua, entre otras.

Para el diseño del sistema neumático se tomará una proyección a futuro para el posible crecimiento del taller, con esto el sistema quedará capacitado para la instalación de más equipos neumáticos.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

Taller mecánico automotriz Estrada es una pequeña empresa que se dedica a brindar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a vehículos de diferentes marcas, con motor a gasolina o diésel. También brinda servicios de mecánica general, electromecánica, diagnóstico computarizado e inyección electrónica.

Dicho taller también presta servicios de diagnóstico, reparación, verificación de averías y mal funcionamiento de los distintos sistemas que componen un vehículo, entre ellos, los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos.

Dentro de las actividades que se realizan en el mismo se encuentran las siguientes:

- Diagnóstico, reparación y verificación del funcionamiento de
 - Motores de combustión interna a gasolina o diésel
 - Sistemas de dirección y suspensión de vehículos 2x2 o 4x4
 - Sistemas de encendido e inyección de combustible, ya sea electrónica o carburada.

- Sistema de freno convencional y ABS
- Sistema eléctrico y electrónico
- Sistema de aire acondicionado y climatización
- Sistema de bolsas de aire
- Mantenimiento preventivo de todos los sistemas que componen un vehículo, entre ellos:
 - Servicio de *Tune Up*
 - Engrasado de piezas mecánicas y elementos que forman el sistema de dirección y suspensión.
 - Lubricación de rodamientos
- Manejo de stock de repuestos, nuevos y usados, productos de limpieza y servicio automotriz.

1.1.1. Ubicación de la empresa

Taller mecánico automotriz Estrada está ubicado en el municipio de San Raymundo, departamento de Guatemala, según el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, (2024), “este municipio se encuentra a 43 kilómetros de la ciudad capital, vía San Juan Sacatepéquez” (p. 1).

La ubicación de esta empresa es estratégica ya que se encuentra a pocos metros del centro del municipio y de la carretera principal que comunica al municipio de San Juan Sacatepéquez y la aldea Ciudad Quetzal del municipio anteriormente descrito.

1.1.2. Historia

Según J. Estrada (2015), “Esta empresa fue fundada en el mes de noviembre de 2001 por el señor Jorge Estrada, quien inició prestando servicios de mecánica general y mantenimiento preventivo y correctivo de vehículos a gasolina únicamente, en instalaciones precarias” (p. 1).

“En 2003 las instalaciones del taller automotriz fueron remodeladas para brindar un mejor servicio a sus clientes, siendo aún instalaciones con techo de lámina antigua usada, sin energía eléctrica, con piso de tierra y circulado con alambre de púas (Estrada, 2015, p. 1)”.

En el año 2005 se logra introducir energía eléctrica al mismo, cambiar el piso de tierra por losa de concreto rustica y cambiar el banco de trabajo. Al mismo tiempo se inició a capacitar, por medio de cursos, al personal de dicha institución, siendo estos de mecánica diésel, inyección electrónica a gasolina, inyección electrónica diésel (*Common Rail*), sistema de ABS, sistemas de bolsas de aire, entre otros. (Estrada, 2015, p. 2)

Con la llegada de vehículos con sistemas electrónicos modernos se dio la necesidad de adquirir equipo de diagnóstico computarizado (scanner), así como

herramientas electrónicas y eléctricas, sin olvidar el crecimiento de herramienta mecánica.

Actualmente el taller mecánico automotriz se encuentra en instalaciones de aproximadamente 315 m², todas las instalaciones cuentan con energía eléctrica de 110 V y 220 V, agua potable, circuladas con pared de block y 162 m² techados con lamina troquelada, en donde presta servicios de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a vehículos de diferentes marcas, con motor a gasolina o diésel, mecánica general, electromecánica, diagnóstico computarizado e inyección electrónica.

1.1.3. Misión

Somos una empresa comprometida en brindar un servicio de calidad con garantía, basado en conocimientos teóricos y prácticos, bajo especificaciones del fabricante y normas de calidad y seguridad para darle solución a los problemas que presente el vehículo de nuestra apreciable clientela. (Estrada, 2015, p. 3)

1.1.4. Visión

Llegar a ser la empresa número uno en el mercado de la mecánica automotriz dentro y fuera del municipio de San Raymundo, departamento de Guatemala, para obtener la credibilidad y confianza plena de nuestra actual y futura clientela, basados en conocimientos teóricos, prácticos y

haciendo uso del mejor equipo de tecnología moderna. (Estrada, 2015, p. 3)

1.1.5. Valores

Según J. Estrada (2015), “Taller mecánico automotriz Estrada lleva siempre al frente la ideología de responsabilidad, honestidad y puntualidad en el cumplimiento de todo tipo de trabajo realizado dentro de la empresa” (p. 3).

1.2. Descripción del problema

La falta de aire comprimido en un taller mecánico impacta de manera negativa en las labores de mantenimiento, el personal y las ganancias económicas, esto debido a que hay ciertas tareas y pruebas de diagnóstico que requieren aire comprimido para efectuarse y de no haber este fluido no se pueden realizar, por lo que esto minimiza el margen de ingresos económicos.

Esta problemática también afecta al personal, ya que todas las labores de montaje y desmontaje de piezas y sistemas se debe de realizar de forma manual, es decir, con herramienta manual y convencional, por lo que el empleado sufre de fatiga muscular al realizar estas labores.

Cuando un empleado se esfuerza más de lo normal puede sufrir lesiones musculares y daños en su salud, por lo que incrementa el nivel de riesgo para el personal durante una labor y crece la probabilidad de accidentes en los empleados y cualquier persona que se encuentre dentro de las instalaciones de la institución.

El tiempo es un factor que hoy en día influye en gran medida, por lo que toda institución busca reducir el tiempo en un proceso; y un taller mecánico automotriz no es la excepción. Por tal motivo es necesario utilizar herramientas y máquinas que agilicen las tareas de mantenimiento, y la mejor opción son las neumáticas, por lo que el aire comprimido se vuelve una necesidad fundamental para acelerar el procedimiento de solución de problemas en un vehículo.

2. AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS NEUMÁTICOS

La energía eléctrica es proveniente de diversas fuentes, entre ellas se encuentran las generadoras hidroeléctricas, eólicas, solar, mareomotriz, undimotriz, gasífera, nuclear, geotérmica, carbonífera, petrolera, fuentes de combustibles renovables y residuos.

Producir energía eléctrica genera un costo elevado, por lo que las empresas proveedoras de este servicio venden su producto a precios acordes a su generación. Actualmente, el costo de la energía eléctrica es la cantidad de kilowatt hora (kW h) consumidos por el precio (Q) del kilowatt hora.

Las grandes empresas guatemaltecas consumidoras de energía eléctrica pagan mensualmente millones de quetzales por el servicio eléctrico, por lo que buscan métodos de ahorro energético que ayuden a minimizar el consumo de este producto y así poder reducir los costos de energía eléctrica. Por otro lado, es amigable con el medio ambiente implementar estos métodos y así conseguir un desarrollo sustentable y sostenible en la industria.

El ahorro energético es toda aquella acción que tenga como finalidad hacer más eficiente el consumo de energía, sin afectar la calidad del servicio prestado por un equipo, máquina o herramienta.

En toda empresa se logran alcanzar ahorros energéticos implementando hábitos, métodos y políticas responsables del uso de la energía y utilizando equipos que sean energéticamente de alta eficiencia.

En la actualidad toda empresa consume energía eléctrica, ya sea para ser usada en iluminarias, máquinas de trabajo, equipo de cómputo, aparatos domésticos, equipos generadores de alguna otra fuente de energía, entre otros.

Los sistemas neumáticos son una fuente de energía, donde su generador energético son los compresores. El aire comprimido posee un alto valor de generación, ya que este no se asocia solo a los costos de producción, sin duda utiliza una cantidad sumamente significativa de energía eléctrica, por lo que llega a ser más caro que la misma electricidad.

Según la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE (2009), describe que un sistema neumático “divide sus gastos en un 83 % de electricidad, 13 % en inversiones de capital y el 4 % en mantenimiento” (p. 4).

Por lo que ahorrar energía en un sistema neumático se vuelve una necesidad de importancia, este ahorro energético se basa en sólidos pilares, los cuales se describen a continuación.

2.1. Pilares del ahorro energético en sistemas neumáticos

Para que un sistema neumático se desarrolle con eficiencia, el ahorro energético debe basar en cuatro pilares fundamentales, siendo estos los siguientes.

2.1.1. Presión

La presión es un factor sumamente importante ya que cada equipo trabaja con diferente presión de aire comprimido y generar esta presión requiere de energía eléctrica.

Por cada 2 psi de aumento de presión en un sistema neumático se consume el 1 % de la potencia del motor del compresor, esto quiere decir que entre más presión se consuma, mayor será el consumo de energía eléctrica por el compresor.

Debido a lo descrito anteriormente, es necesario estandarizar la presión de un sistema neumático y generar solo la presión necesaria, y así ahorrar la energía que se utiliza en producir una presión sobredimensionada.

2.1.1.1. Estandarización de presión en el sistema de distribución

Para ahorrar energía es necesario establecer la presión de operación de los equipos, esta debe ser definida a través de los requerimientos de cada una de las máquinas y herramientas, normalmente establecidos por los fabricantes.

Enlistada la presión necesaria por equipo se debe seleccionar la mayor presión de operación, de lo contrario, se dejarán ineficientes otras máquinas que requieran más presión.

Por otro lado, cuando se estandariza la presión de distribución de aire comprimido no se tienen que dejar desapercibidas las pérdidas de presión del sistema.

Dentro de las ventajas de estandarizar la presión en el sistema de distribución se encuentran las siguientes:

- Se reducen proporcionalmente los niveles de fugas en las tuberías y accesorios

- Aumento de la vida útil de los instrumentos y accesorios que estén instalados en la red de distribución

2.1.1.2. Ajustes de presión en el sistema de compresión

El sistema de compresión en un sistema neumático está formado específicamente por el compresor, este tiene la capacidad para comprimir aire a diferentes presiones.

Ajustar la presión de compresión no es más que regular la presión máxima a la que el compresor comprimirá el aire, esta dependerá de la presión requerida en el sistema de distribución.

Comprimir aire a presiones mayores de las requeridas genera un consumo excesivo de energía, ya que tendrá que trabajar el compresor durante periodos de tiempo más extensos.

2.1.2. Sectorización

La sectorización es la acción de dividir un lugar de trabajo en sectores de producción. Esta acción, en un sistema neumático, evita que toda el área de trabajo tenga suministro de aire comprimido y así evitar la alimentación de fugas de aire comprimido en las mismas.

Al evitar fugas de aire comprimido en áreas productivas se está ahorrando energía y recursos económicos utilizados en la generación del fluido y en el mantenimiento del equipo y red de distribución.

2.1.2.1. Interrupción de aire comprimido en áreas no productivas

Durante las rutinas de labores diarias en una industria, existen lugares de producción que no se utilizan a la misma vez que otras, por lo que interrumpir la alimentación de aire comprimido en las áreas no productivas evita que este fluido se escape por fugas en dichos lugares. Esta acción elimina la posibilidad de perder energía neumática y eléctrica en áreas fuera de uso.

La interrupción de aire comprimido en áreas no productivas se logra sectorizando las áreas de producción, y para el control de estas se deben de instalar válvulas de control de flujo neumático. Cuando un área esté fuera de servicio la válvula permanecerá cerrada y así cortar el flujo de aire comprimido.

2.1.3. Monitorización

La monitorización consiste en supervisar detenidamente todo el sistema neumático, desde la generación hasta el consumo de aire comprimido. Supervisar el proceso de distribución y generación es sumamente importante ya que mediante esta acción se observa el correcto funcionamiento del sistema de compresión y las fugas de aire existentes en la red de distribución.

Existen diversos métodos de monitorización, el más común es el análisis VOSO, ya que por medio del tacto y oído se determinan fugas de aire comprimido en las tuberías de distribución, y con la vista se observa la dimensión del agujero por donde se fuga el fluido comprimido.

Actualmente, existen otros métodos de monitorización, entre ellos se encuentra el monitoreo automatizado, el cual, por medio de electroválvulas, caudalímetros y manómetros se controla el flujo y fugas de aire comprimido.

Las electroválvulas son las encargadas de cortar o suministrar flujo de aire comprimido a un área, y los caudalímetros monitorean el caudal de fluido que circula en una tubería. Para monitorear la existencia de fugas de aire comprimido primero se deja fluir cierta cantidad de aire comprimido, a determinada presión en un área de producción, posteriormente se cierra la electroválvula de suministro y se observa en el manómetro instalado en la tubería si la presión de aire comprimido suministrado varía.

Si la presión de aire disminuye, significa que existen fugas de aire comprimido, de lo contrario, el sistema está completamente hermetizado.

2.1.3.1. Fugas de aire comprimido

Las fugas de aire comprimido en un sistema neumático son un problema frecuente, esta problemática provoca problemas operativos, entre ellos:

- Aumento de ciclos de trabajo del compresor, es decir, trabaja más de lo normal, esto provoca un deterioro acelerado en el equipo.
- Aumento de mantenimientos requeridos en la red de distribución y el equipo en general.
- Incremento innecesario de la capacidad del sistema de compresión

Normalmente, cuando la cantidad de fugas de aire comprimido en una industria es elevada y el sistema deja de ser eficiente, en su mayoría de veces, se piensa en instalar un nuevo equipo de compresión que satisfaga las necesidades de la empresa, sin embargo, esta no es la solución. Para analizar las posibles soluciones, primero se debe estudiar el efecto que producen las fugas, ya que arreglando esta problemática se puede resolver la ineficiencia del sistema neumático.

Las fugas de aire comprimido no solo afectan la eficiencia de un sistema neumático, sino que también aumentan el consumo de energía eléctrica, y con ello, aumento del costo de generación de aire comprimido. En la tabla 1 muestra la cantidad de aire comprimido y potencia que se desperdicia cuando existe una fuga de aire, esta depende del diámetro del agujero por donde se fuga dicho fluido.

Tabla 1.

Pérdida de aire comprimido y potencia

Diámetro del orificio (mm)	Caudal del aire a 90 psi (m ³ /min)	Pérdida de potencia utilizada para su compresión (kW)
1	0.06	0.3
3	0.60	3.1
5	1.60	8.3
10	6.30	33.0

Nota. Herramienta utilizada para determinar rápidamente la pérdida de aire comprimido y la potencia desperdiciada cuando existe una fuga. Obtenido de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE. (2009). *Guía para ahorrar energía en sistemas de aire comprimido*. (p. 13) Secretaría de energía.

2.1.4. Calidad del aire

La calidad del aire en un sistema neumático está determinada por la cantidad de humedad y contaminación que posea el fluido. El aire comprimido divide su calidad en cuatro niveles, los cuales dependen de su aplicación, estos niveles son los siguientes:

- Aire para respirar o médico. Este aire debe ser libre de contaminantes y humedad, es el más estéril en el rango de niveles, la esterilización de este fluido se consigue con la estricta filtración del fluido.
- Aire de procesos. Es el fluido que contiene un mínimo de humedad y contaminantes, generalmente es utilizado en la industria alimenticia, química, farmacéutica y electrónica. La calidad de este aire se encuentra en el segundo nivel.
- Aire para instrumentos. Fluido que contiene moderada cantidad de humedad y contaminantes, su calidad se encuentra en el tercer escalón del rango. Este aire es utilizado en laboratorios, herramientas neumáticas, entre otros.
- Aire de planta. Es aire contaminado y sucio, ocupa el último lugar en la escala de niveles de calidad del aire.

Para obtener la calidad del aire comprimido, este debe pasar por una serie de procesos, los cuales consisten en utilizar equipos y elementos que reduzcan su humedad y eliminen los materiales contaminantes. Dentro de estos procesos también se encuentra la limpieza del sistema neumático.

El nivel de humedad del aire es controlado por medio de equipos de secado y los materiales contaminantes se eliminan mediante filtros y constante limpieza del sistema neumático. Para obtener aire comprimido estéril, este debe pasar por un sistema de filtrado de aire compuesto por una serie de filtros, dentro de estos se encuentran los siguientes:

- Elemento filtrante tipo P, el cual obstruye el paso de partículas
- Elemento filtrante coalescente tipo S, estos fabricados de microfibras que obstruyen el paso de partículas 2500 veces más pequeñas que las que fluyen por el filtro tipo P.
- Elemento filtrante de carbón activado, este elimina los malos olores y sabores del aire comprimido, también retiene los gases irritantes contenidos en dicho fluido.
- Elemento filtrante para filtración profunda, tipo P-SRF N, este es el filtro encargado de terminar de esterilizar el aire comprimido.

Cuando se establece la calidad de aire requerida en una industria se debe tener en cuenta que esta va de la mano con el costo de generación del aire comprimido, esto debido a que una alta calidad requiere de equipos adicionales, los cuales operan con grandes cantidades de energía, y un estricto y periódico mantenimiento del sistema neumático.

Desde otro punto de vista, la calidad del aire es sumamente importante ya que toda impureza y humedad forma obstrucción en el flujo del aire comprimido, con ello, se incrementa el esfuerzo del sistema neumático en general y por consiguiente aumenta el consumo energético.

Para mantener la calidad del aire comprimido generado es necesario dar mantenimiento periódicamente a tuberías, unidades de mantenimiento, purgadores y depósitos acumuladores de aire comprimido.

2.1.4.1. Limpieza de tuberías

Las tuberías que transportan aire comprimido están expuestas a humedad, polvo y aceites, es por ello que durante determinado tiempo de operación estas se ensucian e incluso se corroen.

Una tubería sucia provoca obstrucción al paso del aire comprimido y en determinado momento, la corrosión existente dentro de la tubería puede empezar a descascararse e ir a obstruir el flujo de aire en los filtros o unidades de mantenimiento.

Para mantener limpia la tubería de la red de distribución de aire comprimido es necesario instalarla con cierta pendiente, para que el condensado y partículas de aceite y polvo existentes dentro de ella puedan fluir hacia tuberías de drenaje y así evitar la presencia de impurezas en las tuberías.

2.1.4.2. Limpieza de purgadores y unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento está formada por el filtro, regulador de presión, manómetro y un lubricador, es también llamada unidad FRL, y es la encargada de acondicionar el aire comprimido que circula por cada uno de sus elementos.

La unidad de mantenimiento debe tener un programa de mantenimiento estricto, ya que los filtros se obstruyen frecuentemente por el paso de impurezas y los reguladores tienden a ensuciarse y dejar de regular de manera correcta la presión del aire.

Un filtro sucio provoca consumo adicional de energía, es por ello que deben revisarse y dar mantenimiento periódicamente. Los filtros se remplazan cuando existe una caída de presión de 2 o 3 psi de presión de diseño como máximo, de esta manera se evita el consumo excesivo de energía.

Algunos filtros instalados en la unidad FRL cuentan con un purgador, este puede ser manual o automático, es el encargado de evacuar el condensado retirado del aire que circula por el filtro.

Los purgadores deben ser revisados periódicamente ya que, si alguna partícula de polvo o aceite se queda adherida a él, obstruye el paso del condensado a evacuar.

2.1.4.3. Limpieza de depósito acumulador

Un depósito acumulador de aire es el encargado de almacenar aire comprimido con la finalidad de satisfacer las demandas que superen la capacidad del compresor y minimizar la operación encendido-apagado del mismo. También funciona como sistema de enfriamiento del aire, con ello se precipita el aceite y la humedad proveniente del compresor.

El aceite y humedad precipitada en el depósito debe ser eliminada diariamente, de no ser así, el aire que se encuentra almacenado dentro de él se contamina y ensucia toda la red de distribución de aire comprimido.

El depósito acumulador de aire comprimido debe contar con válvula de seguridad, manómetro, válvula purgadora de condensado y tapaderas de inspección o de limpieza.

La válvula purgadora de condensado es la encargada de controlar la descarga de condensado y aceite, esta puede ser operada automática o manualmente. Las válvulas purgadoras manuales deben ser abiertas y cerradas por un operador para que liberen el condensado y aceite contenido en el depósito, a diferencia, las automáticas abren el flujo de condensado al percibir presencia de este.

Mantener limpio el depósito acumulador de aire comprimido evita el arrastre de partículas contaminantes, es por ello que estos traen tapaderas de mantenimiento, al retirar estas se puede hacer limpieza profunda dentro del depósito.

2.2. Reducción de energía por sobredimensionamiento del sistema neumático

La dimensión de cada componente del sistema neumático está relacionada con el consumo de energía, especialmente el diámetro de la tubería que forma la red de distribución y el compresor.

Cuando un sistema neumático está sobredimensionado se genera un exceso de consumo energético, esto debido a que el sistema compresor debe trabajar más de lo establecido para poder compensar las pérdidas de presión generadas durante el transporte del aire comprimido.

El diámetro de una tubería que transporta aire comprimido es de suma importancia, ya que las pérdidas de presión que sufre el fluido cuando circula por ella están directamente relacionadas con su diámetro.

Por tal motivo es importante calcular el diámetro óptimo de la tubería, este debe tener la capacidad de transportar un caudal determinado con las mínimas pérdidas de energía y presión posibles. Las pérdidas de presión permisibles en un sistema neumático deben oscilar normalmente entre 3 % y 6 % de la presión nominal.

Cuando se diseña un sistema neumático no solo se debe tener especial cuidado en la dimensión del diámetro de la tubería, sino que también en el tamaño del compresor, ya que un compresor sobredimensionado consume más energía de la que debería consumir un compresor con dimensiones acordes a las necesarias.

2.3. Corrección de fugas de aire comprimido

Las fugas existentes en un sistema neumático generan consumo energético innecesario, es por ello que se deben de corregir a la brevedad. El porcentaje de fugas aceptable, en términos de la capacidad del compresor, debe de ser menor al 10 %, siempre y cuando el sistema neumático reciba un mantenimiento acorde y periódico, de no ser así, el porcentaje de fugas puede llegar de un 20 % a un 30 % de la capacidad del compresor.

Según E. Carnicer Royo (1977), señala que “en la mayor parte de las industrias que emplean las herramientas neumáticas más usuales, atornilladores, taladros, etc., es decir, talleres mecánicos, de electrodomésticos, etc., las pérdidas de aire no deben pasar del 10 %” (p. 201).

Existen diversos métodos para determinar el nivel de fugas en el sistema neumático, uno de ellos es por medio de medidores de tiempo, en la mayoría de los compresores modernos viene instalado uno, el cual tiene la función de llevar el registro de los periodos Carga / Sin carga, por lo que, si el tiempo de carga aumenta y el tiempo de descarga disminuye, para el mismo nivel de producción, quiere decir que el nivel de fuga en el sistema ha aumentado o tiene presencia de fugas.

Otro método empleado para determinar el nivel de fugas es a base de cálculos, para el cual se debe conocer el caudal del compresor y el porcentaje de fugas existente en el mismo, con esta información se calcula el flujo de fugas, este arrojará su valor en unidades de gasto en las que este el caudal, por ejemplo, m³/min, CFM, entre otras.

Existen técnicas y métodos para localizar fugas en un sistema neumático, uno de los más usados consiste en utilizar espuma de jabón, la cual se aplica a lo largo de la tubería o áreas a inspeccionar. Cuando exista una fuga, el fluido jabonoso empezará a emitir burbujas y por muy mínima que sea esta fuga siempre presentará señal, por lo que se tendrá que corregir.

Las fugas normalmente se localizan en accesorios, reguladores de presión, trampas de condensado, sellos en tuberías, y con mayor probabilidad las tuberías que se encuentran expuestas a la humedad del ambiente exterior.

Eliminar una fuga de aire comprimido puede ser una acción tan sencilla como reapretar un accesorio o tan compleja como cambiar un tubo o accesorio dañado. Sin embargo, sea la acción que sea, siempre es más económico reparar la fuga que el costo de seguir operando con ella.

Como método de emergencia ante una fuga, es conveniente reducir la presión de operación del sistema, ya que a menor presión más baja será la cantidad de aire comprimido que fluya por el orificio.

Toda institución que posea un sistema neumático es conveniente que tenga un programa preventivo de fugas, ya que por medio de este se tendrá control de identificación, ajuste, reparación y verificación de las fugas existentes en el sistema.

2.4. Concientización del costo del aire comprimido

Producir aire comprimido tiene un costo elevado, incluso más caro que la energía eléctrica, esto debido al consumo de energía necesario para poner en marcha el sistema compresor. Energéticamente hablando, el aire comprimido es el servicio más caro que existe en una industria.

El aire comprimido es limpio, fácil disponer de él y es simple de usar, no obstante, frecuentemente se utiliza en aplicaciones inapropiadas en donde es más económico reemplazar estas actividades con otros equipos o fluidos.

Cuando se emplea aire comprimido en una industria primero se debe realizar un análisis de costo-beneficio, ya que generar aire comprimido es costoso económica y energéticamente, por lo que habría que evaluar si existe algún otro tipo de equipo que pueda realizar una misma actividad con menor inversión y que se puedan obtener los mismos resultados.

Durante el proceso de diseño de un sistema neumático se tienen que tomar en cuenta aspectos muy importantes, como lo es el costo energético de

generación de aire comprimido, por ello se deben de analizar aspectos como la temperatura del aire a comprimir.

Según CONNUEE (2009), por medio de estudios ha llegado a estimar que “por cada 4 °C de incremento en la temperatura del aire de succión se incrementará un 1 % la energía consumida por el compresor para la misma cantidad de aire comprimido” (p. 12).

2.4.1. Uso inapropiado de aire comprimido

Frecuentemente el aire comprimido se utiliza de forma inapropiada, ya que existen equipos y técnicas que son más eficientes y económicas que utilizar aire comprimido. Dentro de los usos inapropiados del aire comprimido se encuentran los siguientes.

- Generar vacío con aire comprimido a través del efecto Venturi
- Utilizar aire comprimido para soplear superficies sucias, uso de pistolas de sopleado.
- Utilizar herramientas neumáticas ineficientes en comparación con herramientas hidráulicas o eléctricas.
- Jugar con aire comprimido
- Utilizar aire comprimido para refrescarse, sacudir la ropa o cuerpo del usuario del fluido.
- Refrigeración del personal

- Enfriar, agitar, mezclar o para inflar cierto tipo de materiales utilizados para empacar.
- Enfriar gabinetes eléctricos
- Limpiar y remover desechos sólidos o líquidos

2.5. Disminución de caídas de presión

Se conoce como caída de presión a la disminución de presión que se da desde la descarga del compresor hasta el punto de consumo. Una caída de presión ocurre cuando el aire comprimido pasa por equipos de enfriamiento o cuando circula a través del sistema de distribución.

Una caída de presión genera consumo excesivo de energía, por lo que hay que evitar que estas se generen, y para ello es necesario implementar algunas acciones correctivas en el sistema neumático.

La caída de presión aceptable en un sistema neumático no debe ser mayor al 10 % entre el compresor y el punto de consumo más alejado de él. Cuando estas caídas de presión superan lo aceptable se tendrá un sistema ineficiente y, por consiguiente, consumirá más energía de la normal.

La solución a las caídas de presión no es elevar la presión de trabajo y distribución, esta acción en vez de beneficiar perjudicará, ya que aumentará el consumo de energía y aumentarán los problemas de caídas de presión y fugas dentro del sistema.

2.5.1. Determinación de las causas de alta caída de presión

Para identificar caídas de presión es necesario medir la presión en diferentes puntos de la red de distribución, por ejemplo, en filtros, mangueras, reguladores, válvulas, entre otras.

También es necesario inspeccionar periódicamente las tuberías y accesorios en busca de tramos o elementos dañados, estos daños pueden ser reducciones de diámetro, corrosión o incluso agujeros, cuando se encuentre algún daño es necesario corregirlo.

Hay que tomar en cuenta que la máxima caída de presión se da cuando la cantidad de flujo y la temperatura son altas, por lo que hay que mantener control de estos factores y buscar siempre minimizarlos.

Para evitar grandes caídas de presión es necesario evitar sobredimensionar el diámetro de las tuberías y mantener flujos de aire comprimido con velocidades entre 6 m/s y 10 m/s.

Las caídas de presión también crecen cuando no hay un mantenimiento estricto en el sistema neumático, es por ello que se deben limpiar los componentes, principalmente filtros, reguladores de presión y secadores.

2.6. Estrategia de control del sistema neumático

Los controles en los sistemas neumáticos son la herramienta más importante para el ahorro energético, ya que cuando estos son correctos los sistemas se vuelven eficientes y de alto rendimiento, sin embargo, se debe ser muy cuidadoso al elegir el control a instalar en el sistema.

Instalando un control se puede lograr desde un 10 % hasta un 30 % de ahorro energético aproximadamente, esto traducido a recursos económicos, con este ahorro se puede recuperar la inversión realizada en menos de un año de operación.

Todo sistema neumático debe estar diseñado de acuerdo con la capacidad del sistema de compresión, dentro de un rango de presión estándar y entregar un flujo de aire comprimido requerido, este último puede ser variable ya que depende de la demanda de aire comprimido.

En la actualidad los controles operan bajo la tecnología de los microprocesadores, por lo que son más rápidos y precisos. Estos monitorean la presión en periodo de tiempo más estrechos, teniendo un rango variable de 2 psi a 20 psi, este rango depende de la demanda del sistema.

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado diferentes esquemas de control que permiten apagar o desfasar la entrada de los compresores para no interrumpir la producción de aire comprimido y así lograr ahorros energéticos significativos.

2.6.1. Control en compresores

Los controles más comunes en los sistemas neumáticos son los controles en compresores, ya que estos son los encargados de encender, apagar y desfasar la entrada de los compresores. Algunos controles se describen a continuación.

2.6.1.1. Control Prendido o Apagado

Es el control más simple que se encuentra instalado en los compresores, este está formado por un interruptor automático, el cual tiene la función de encender o apagar el motor del compresor al percibir una caída de presión.

El uso de estos sistemas de control se limita a sistemas con ciclos de servicio muy bajos, ya que si son instalados en servicios de alta carga los motores se pueden sobrecalentar por los constantes arranques.

Para mejorar la aplicación de estos controles, se deben combinar con otros elementos, como lo son los arrancadores suaves, de esta manera se consigue incrementar el número de arranques y paros por hora. Estos sistemas combinados son frecuentemente utilizados en sistemas de compresión formados por dos o más compresores y que requieran ser encendidos de forma secuencial.

2.6.1.2. Control Carga o Sin carga

Este control alimenta el sistema cuando se encuentra en modo de carga y cuando alcanza la presión establecida, pasa al modo sin carga, en este modo el motor se queda trabajando a velocidad constante, pero sin entregar aire al sistema. Es por ello que también recibe el nombre de control de velocidad constante.

Cabe destacar que este sistema de control es ineficiente, debido a que pueden consumir de 15 % a 35 % de la potencia a plena carga al trabajar en modo sin carga.

2.6.1.3. Control por variadores de frecuencia (VFD)

El control por variadores de frecuencia (VFD), como su nombre lo indica, trabaja con la frecuencia del motor del compresor, al variar la frecuencia varía automáticamente la velocidad de dicho motor. Un variador de frecuencia vuelve eficaz un motor eléctrico, mejora su eficiencia energética y reduce el consumo de energía.

Estos se pueden instalar en la mayoría de los compresores, pero se obtiene un mejor resultado en sistemas compresores que presenten demandas fluctuantes, ya que tienen una excelente respuesta a picos de carga.

La ventaja de utilizar este sistema de control es que elimina el modo sin carga, con ello desaparece la pérdida de energía del 15 % al 35 % al trabajar en vacío el compresor, también logra mantener una presión constante en el sistema neumático.

2.6.1.4. Secuenciadores

Los secuenciadores son elementos utilizados para ir conectando o desconectando, en secuencia, la capacidad de los compresores individuales dependiendo de la demanda del sistema neumático.

La conexión o desconexión de cada compresor es decisión de una unidad maestra; este sistema de control es utilizado en sistemas neumáticos que cuenten con una serie de compresores, de lo contrario el control no funcionaría.

Los secuenciadores son un sistema de control eficiente debido a que los rangos de presión son muy estrechos, sin embargo, se debe de tener especial

cuidado cuando se utilizan en promedios bajos de presión, ya que cambios bruscos en la demanda de aire comprimido pueden ocasionar caídas de presión, esto provocaría un inadecuado funcionamiento del sistema neumático.

3. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA NEUMÁTICO

Un sistema neumático es aquel conjunto de elementos que utilizan aire atmosférico como materia prima, y entrega como producto final aire comprimido, el cual se utiliza para transmitir potencia a dispositivos mecánicos como por ejemplo herramientas, máquinas neumáticas, actuadores, entre otros.

En la actualidad, la mayoría de las industrias utilizan aire comprimido debido a que es un fluido fácil de usar, su sistema no requiere mayor mantenimiento y es de fácil acceso.

Para implementar un sistema neumático primero debe ser diseñado de acuerdo con las necesidades de la industria en donde será instalado, tomando en cuenta factores sumamente importantes como lo son el uso que se le dará al servicio, la infraestructura del establecimiento, áreas de producción, condiciones ambientales del recinto, pérdidas de presión, entre otras.

El diseño del sistema neumático a implementar tiene que contar con una serie de planos que especifiquen las dimensiones del sistema, ya que con base en estos serán instalados todos los elementos que forman el sistema y la red de distribución de aire comprimido.

Para instalar un sistema neumático se sigue una serie de pasos, entre ellos se encuentra el diseño de la red de distribución, elaboración de planos del diseño de la red de distribución y cálculos necesarios para seleccionar el compresor idóneo, posteriormente se procede a instalar cada uno de los

elementos que forman dicho sistema, y para ello se deben tomar en cuenta aspectos técnicos de instalación.

A continuación, se detalla cada uno de los pasos mencionados anteriormente.

3.1. Diseño de la red de distribución de aire comprimido

El aire comprimido producido es utilizado en distintas áreas de trabajo, por lo que es necesario transportarlo desde el depósito acumulador hasta el lugar donde será utilizado por máquinas o herramientas.

Según E. Carnicer Royo (1977) “el máximo grado de utilización de la capacidad de producción de un sistema neumático depende, en gran manera, de un correcto diseño en origen” (p. 219). Por lo que para realizar el diseño de la red de distribución de aire comprimido se tienen que tomar en cuenta parámetros claves, siendo estos los siguientes.

- Presión suministrada por el compresor y presión de utilización en la red de distribución.
- Caudal suministrado por el compresor y el caudal que circulará por cada zona de trabajo.
- Pérdidas de presión permisibles
- Velocidad de circulación de aire comprimido

Teniendo ya establecidos los parámetros mencionados anteriormente se puede seleccionar el tipo de red de distribución a instalar. Cuando se diseña la red de distribución de aire comprimido debe tenerse presente siempre la humedad del aire, ya que esta se condensa y provoca obstrucciones en el flujo del aire, por lo que la red de distribución debe facilitar la evacuación de este condensado.

3.1.1. Selección de red de distribución

Existen dos tipos de red de distribución, cada una es utilizada en distintas aplicaciones, ya que poseen características, ventajas y desventajas diferentes entre sí.

Los tipos de red de distribución se detallan a continuación.

3.1.1.1. Red abierta

Este tipo de red está formado por una sola línea principal de suministro de aire comprimido, de la cual se ramifican las tuberías secundarias y de servicio. Es usualmente utilizada en sistemas neumáticos que cuenten con un secador de humedad, ya que este elimina la probabilidad que se acumule condensado en las tuberías.

Una de las ventajas de la red abierta es que se conoce el sentido de flujo del aire comprimido, por lo que se podrá establecer con seguridad una pendiente de 1 % o 2 % en dirección del flujo, esta facilita la evacuación de condensado, y los equipos de separación de humedad funcionarán de forma eficiente, ya que estos solo tienen una entrada y una salida de aire comprimido, es decir, de un

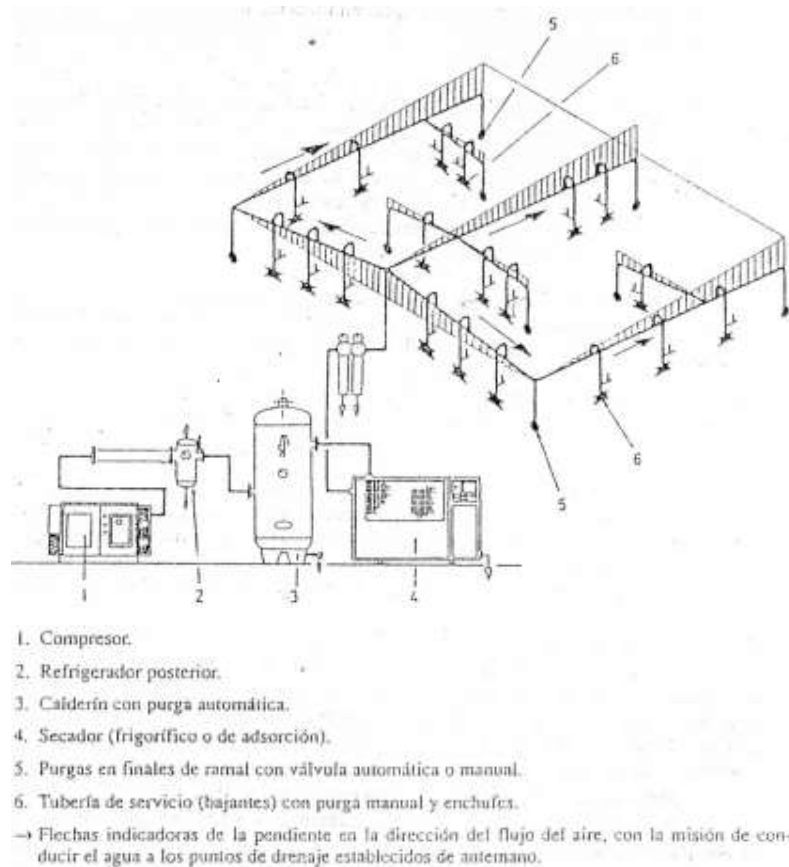
lado ingresa aire húmedo y del otro sale aire comprimido tratado. Otra ventaja es la poca inversión inicial para implementar dicha configuración de tuberías.

Como todo diseño, esta configuración tiene ciertas desventajas, una de ellas es el desbalance de carga de aire comprimido que puede producir una mala distribución de dicho fluido, por lo que hay que analizar este efecto para diseñar la red de distribución de aire y diseñar con mayor cuidado el diámetro de las líneas de distribución.

El mantenimiento de este tipo de red es otra desventaja, ya que cuando surge la necesidad de reparar un tramo de tubería se interrumpe el suministro de aire a zonas productivas aguas abajo de donde se está reparando.

Figura 1.

Red en circuito abierto



Nota. Ilustración y partes de un sistema neumático con red de distribución de aire comprimido en circuito abierto. Obtenido de E. Carnicer. (1977). *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones.* (p. 225.) Gustavo Gili, S. A.

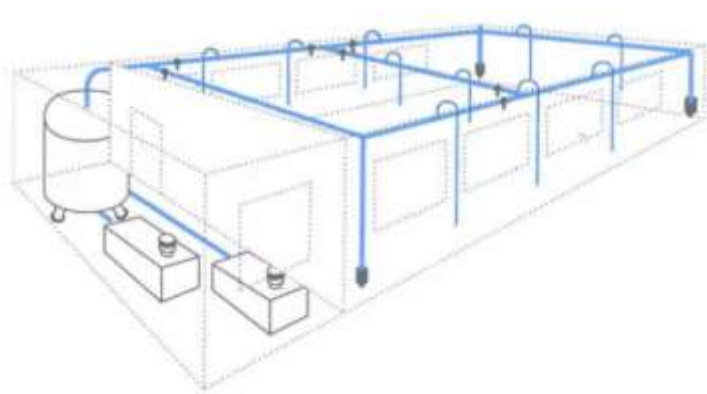
El circuito de red abierta resulta una buena opción a implementar en el taller mecánico automotriz Estrada, ya que este se apega a las necesidades y, sobre todo a la infraestructura de dicha institución, por lo que el sistema neumático a implementar en esta empresa contará con una red de distribución de red abierta.

3.1.1.2. Red cerrada

El circuito de red cerrada está formado por la línea principal en anillo, de la cual se despliegan las tuberías secundarias y de servicio. Esta configuración permite alimentar de dos fuentes diferentes un mismo punto de consumo, minimizando así las caídas de presión.

Figura 2.

Red en circuito cerrado



Nota. Ilustración de sistema neumático con red de distribución de aire comprimido en circuito cerrado. Obtenido de SMC International Training. (2002). *Neumática*, 2a ed. (p. 53.) Paraninfo.

En este tipo de configuración, se desconoce el sentido del flujo del aire comprimido, por lo que no se pueden instalar filtros, separadores de sólidos y humedad, o algún otro equipo que requiera un sentido de flujo dentro del circuito de tuberías. Debido a esta razón, las tuberías tampoco cuentan con una pendiente para evacuar condensado.

La red cerrada debe tener instalado el sistema de tratamiento del aire a la salida del compresor, ya que no podrá ser instalada dentro del circuito, de no ser

así el aire comprimido tendrá alta probabilidad de contener contaminantes y exceso de humedad.

Una de las ventajas de este tipo de circuito es el mantenimiento, ya que se pueden realizar reparaciones o actividades de mantenimiento sin perjudicar áreas ajenas a la zona de trabajo.

3.1.2. Selección de la clase de tubería

Un sistema neumático puede estar diseñado con distintos tipos de tuberías, estas deben ser seleccionadas de acuerdo con las necesidades y condiciones de infraestructura y ambiente de una institución, entre ellas, presión de trabajo, caudal requerido, condiciones climáticas y de contaminación, entre otras.

Existen tres tipos de tuberías en una red de distribución de aire comprimido, estas son las siguientes.

- Tubería principal, también llamada tubería madre. Es la encargada de conducir la totalidad del aire comprimido generado por el compresor, debe de poseer un diámetro mayor que las otras tuberías y ser dimensionada bajo un margen de seguridad y posible crecimiento.
- Tuberías secundarias. Son las tuberías que se ramifican de la tubería principal, estas transportan el aire comprimido de la tubería principal a las áreas de trabajo y de ellas se derivan las tuberías de servicio.

- Tuberías de servicio. Son las encargadas de suministrar aire comprimido a las máquinas o herramientas neumáticas, el diámetro de estas tuberías debe ser de ½" o más.

Como se describe anteriormente, cada tubería posee una labor diferente, por lo que tienen que ser diseñadas de acuerdo con su labor. Es de suma importancia seleccionar el tipo de tubería a utilizar, ya que no todas soportan la misma presión y se pueden exponer a mismas condiciones climáticas y de contaminación. A continuación, se describe la clasificación de las tuberías.

3.1.2.1. Tuberías rígidas

Son tuberías que carecen de movilidad, son utilizadas en instalaciones permanentes y que operan a altas presiones. Estas tuberías soportan altas cargas y presiones por sí solas a lo largo de su vida útil, por lo que frecuentemente presentan problemas de rotura, fugas, deformaciones y en ocasiones poca durabilidad.

Dentro de las tuberías rígidas se encuentran las tuberías de acero, cobre, aluminio, hierro negro, entre otros metales. Frecuentemente las tuberías de acero son utilizadas en instalaciones que requieren grandes diámetros, a diferencia, las tuberías de cobre se utilizan en instalaciones de diámetro reducido y en ambientes poco corrosivos.

Al utilizar este tipo de tuberías se deben tener en cuenta algunos factores, entre ellos están los siguientes.

- Son frágiles al estar en presencia de vibraciones

- Costo de inversión elevado
- Accesorios limitados
- No todos los materiales soportan ambientes corrosivos
- Para su instalación requieren herramientas sofisticadas y de personal técnico capacitado.
- Algunos materiales pesan demasiado, por lo que no pueden ser instalados fácilmente de forma aérea.

3.1.2.2. Tuberías semirrígidas

Tuberías con capacidad de movilidad y deformación, son de fácil instalación y requieren poco mantenimiento. Son fabricadas de materiales termoplásticos y de polietileno.

Dentro de las tuberías semirrígidas se encuentran las tuberías de PVC de alta resistencia y de gran espesor de pared, estas son livianas y de costo relativamente bajo. Estas tuberías son utilizadas en sistemas neumáticos que trabajen con presiones moderadas, estén expuestos a ambientes corrosivos, posean bajo nivel de vibraciones y que posean probabilidades de ligeros desplazamientos.

Dentro de las limitantes de este tipo de tuberías son las condiciones de temperatura, ya que no soportan estar expuestas a altas temperaturas debido a que pueden sufrir deformaciones. Sin embargo, tienen algunas ventajas, entre ellas se encuentran las siguientes.

- Facilidad de instalación
- No requieren herramientas sofisticadas para su instalación
- Se pueden cortar a la longitud deseada sin presentar inconvenientes durante el corte.
- La unión de accesorios y extensiones de tubo es rápida y no requieren materiales extraños o de difícil acceso.
- Amplia disponibilidad de accesorios
- Son de peso liviano, por lo que se facilita la instalación aérea

Las tuberías semirrígidas son la mejor opción para utilizar en la red de distribución de aire comprimido del sistema neumático a implementar en el Taller Mecánico Automotriz Estrada, ya que esta institución no trabajará con altas presiones, las tuberías se pueden acomodar a la infraestructura y son de bajo costo económico.

3.1.2.3. Tuberías flexibles

Las tuberías flexibles también son conocidas como mangueras, son utilizadas en distintas aplicaciones e industrias, ya que soportan grandes deformaciones, vibraciones, ambientes corrosivos y grandes presiones, estas dependiendo del material de fabricación.

Una manguera está formada por tres capas, la primera es un forro liso que es resistente a aceites, seguidamente se encuentra una capa resistente a la

presión del aire comprimido y por último posee un forro, el cual brinda resistencia a solventes, ambiente exterior y materiales abrasivos.

Las mangueras son generalmente fabricadas de materiales como el caucho y sus derivados, nylon, PVC flexible, termoplásticos flexibles, entre otros.

En el sistema neumático a implementar en el Taller Mecánico Automotriz Estrada se utilizarán mangueras para transportar aire comprimido desde la tubería de servicio hasta un lugar donde no haya una tubería de servicio cerca, esta distancia será lo más corta posible y sólo se instalarán cuando así lo requiera el operador de un equipo o herramienta. También se utilizará manguera al final de cada tubería de servicio, así esta abastecerá de aire comprimido las herramientas y máquinas neumáticas a utilizar.

3.2. Planos de diseño para red de distribución de aire comprimido

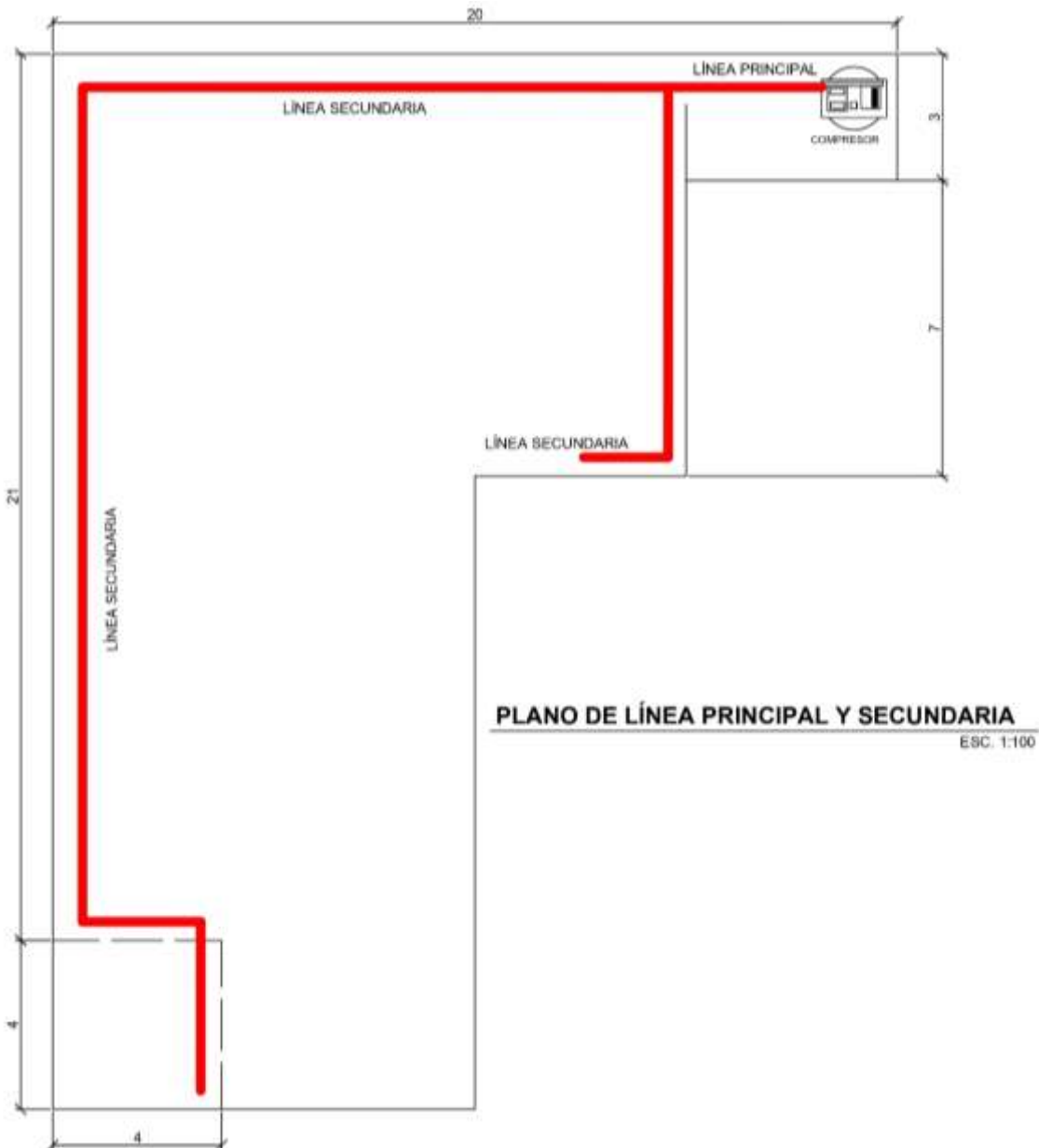
Para implementar un sistema, independientemente el tipo que sea se requiere de una serie de planos que muestren gráficamente la estructura, posición y dimensión de un elemento.

La instalación de un sistema neumático no es la excepción, por ello a continuación se muestran los planos a utilizar durante la instalación del sistema neumático en el Taller Mecánico Automotriz Estrada.

Los planos del diseño del sistema neumático a implementar están basados en la infraestructura y los requerimientos del establecimiento, toda la tubería está diseñada para ser instalada de forma aérea y evitando cambios bruscos en la dirección del flujo de aire comprimido.

Figura 3.

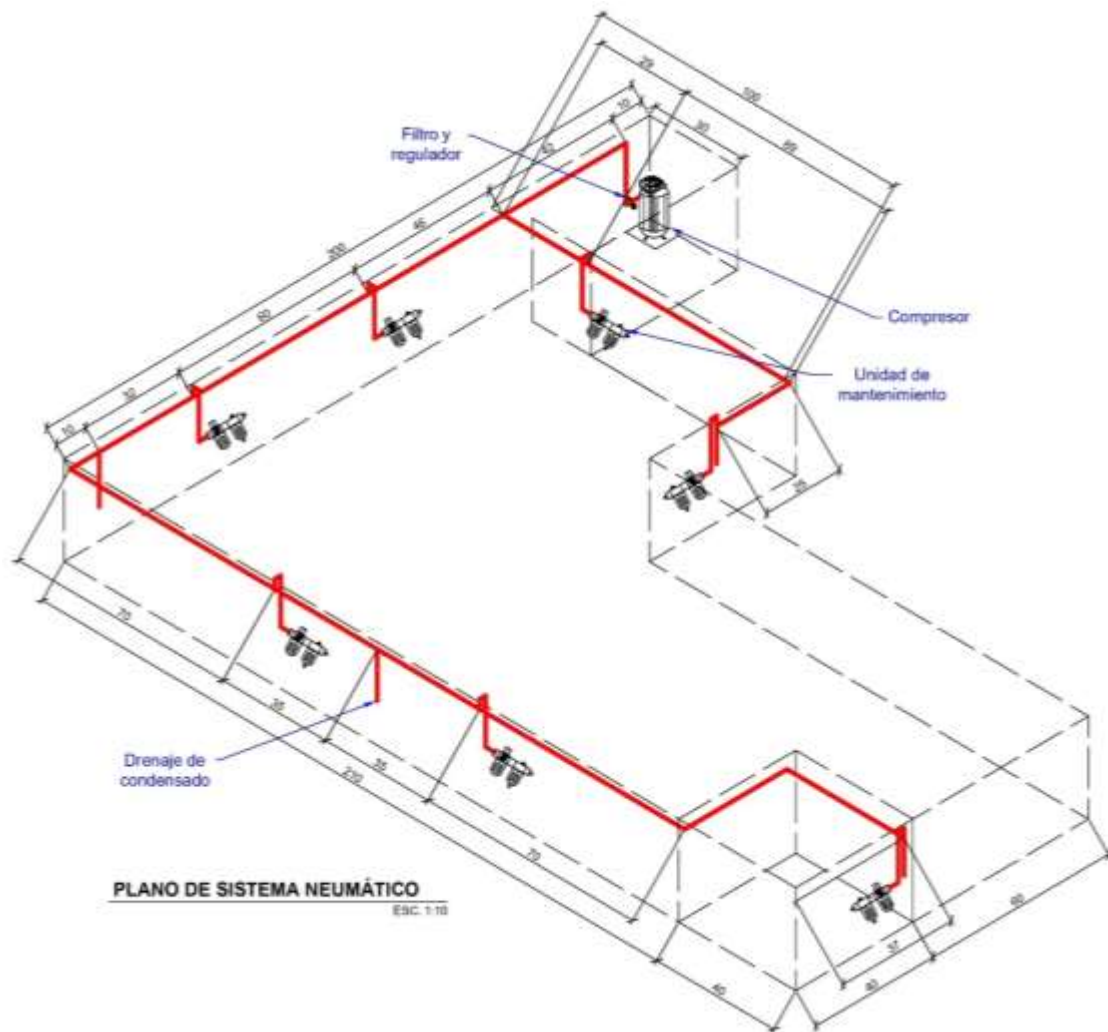
Plano de línea principal y secundaria de aire comprimido



Nota. Plano que muestra la red de tuberías secundarias y principal a instalar en Taller Mecánico Automotriz Estrada. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 4.

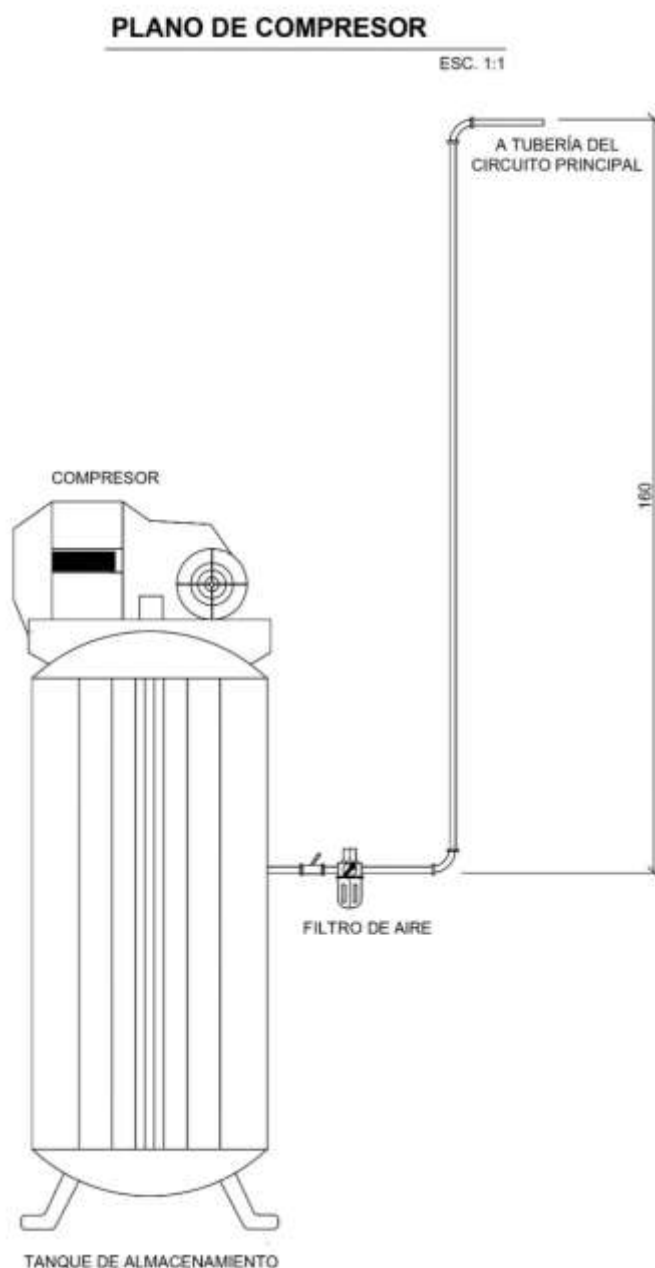
Plano del sistema neumático



Nota. Plano en tres dimensiones que muestra el sistema neumático a instalar en Taller Mecánico Automotriz Estrada. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 5.

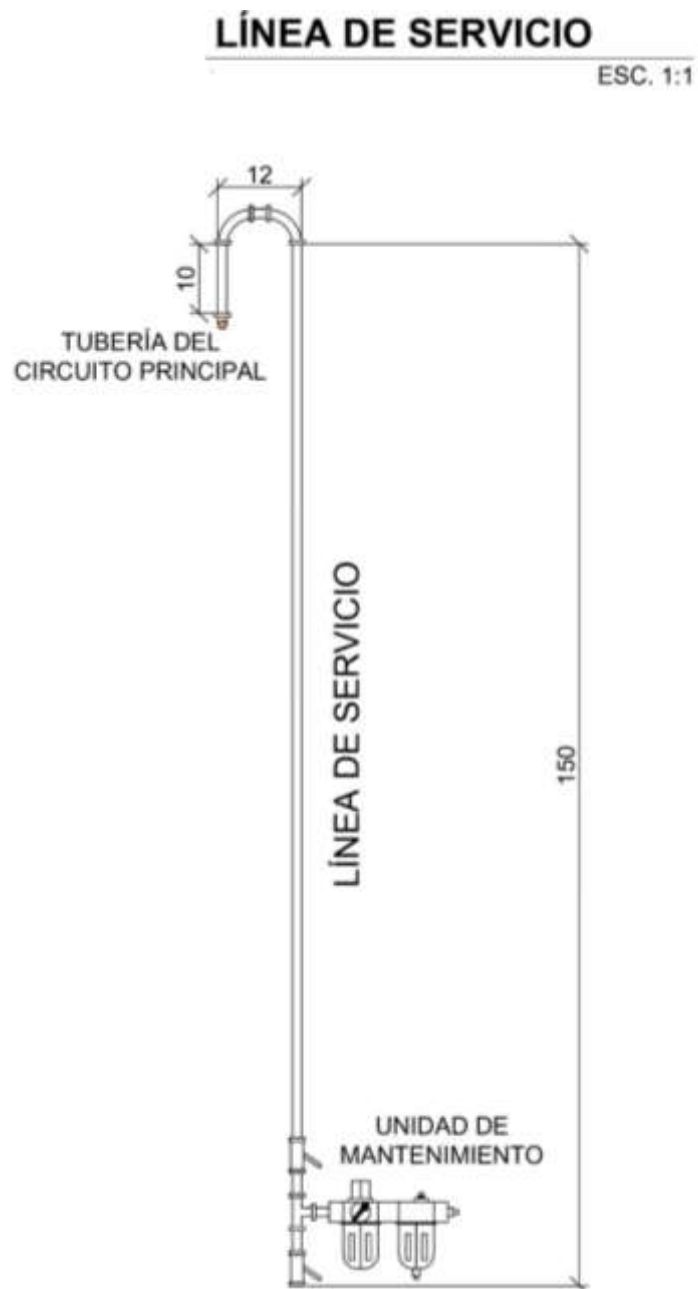
Plano de compresor



Nota. Plano del compresor y tramo de tubería principal a instalar en Taller Mecánico Automotriz Estrada. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 6.

Plano de línea de servicio de aire comprimido



Nota. Plano de la tubería de servicio a instalar en el Taller Mecánico Automotriz Estrada.
Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

3.3. Cálculo de compresor

El compresor es el corazón del sistema neumático, ya que es el encargado de tomar aire del ambiente y elevar su presión, para luego ser almacenado, tratado y distribuido. El compresor por instalar debe ser capaz de cubrir las necesidades de una industria y para ello es necesario calcular el tamaño de este.

Para calcular el compresor es necesario conocer el total de carga de aire comprimido que se utilizará, caudal a suministrar, presión a la que trabajará el sistema y el diámetro de la tubería del sistema de distribución. El diámetro es sumamente importante debido a que de este depende, en gran medida, la pérdida de presión en el sistema.

3.3.1. Cálculo de cargas por equipo

También conocida como demanda de aire comprimido a utilizar y está dada por la suma de los consumos de aire comprimido de todas las herramientas, máquinas o equipos neumáticos a usar.

Dentro de este cálculo también hay que estimar un factor por posible crecimiento de la institución.

A continuación, se presenta una serie de herramientas que posiblemente se utilizarán en el Taller Mecánico Automotriz Estrada, las cuales servirán para calcular la carga de aire comprimido.

3.3.1.1. Pistola de impacto

Es una herramienta diseñada para apretar o aflojar tuercas y tornillos de forma fácil y rápida. Las pistolas de impacto permiten realizar trabajos hasta 10 veces más rápido que de forma manual. Estas herramientas son fabricadas en distintas presentaciones, las pistolas de impacto pequeñas son utilizadas para reparar o remplazar sistemas sencillos, que poseen un rango de torque pequeño, y las pistolas de impacto grandes son utilizadas para actividades que requieran un torque mayor.

Tabla 2.

Especificaciones técnicas de pistola de impacto

Especificaciones	Pistola de impacto raíz de 1"	Pistola de impacto raíz de 3/4"	Pistola de impacto raíz de 1/2"
Consumo nominal	9.5 CFM	6 CFM	4.4 CFM
Presión de operación	90 psi (6 Bar)	90 psi (6 Bar)	90 psi (6 Bar)
Máximo torque	1,800 lb-ft	750 lb-ft	400 lb-ft
Entrada de aire	1/2" NPT	3/8" NPT	1/4" NPT
Diámetro interno de la manguera	3/4" (19 mm)	1/2" (13 mm)	3/8" (10 mm)
Golpes por minuto	650 gpm	900 gpm	1,200 gpm

Nota. Descripción de datos técnicos para pistolas neumáticas con distintas raíces. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023*. (<https://www.truper.com/CatVigente/Llaves-De-Impacto-TRUPER-286.html>), consultado el 29 de marzo de 2023. De dominio público.

3.3.1.2. Ratcher neumático

Es una herramienta neumática similar a la pistola de impacto, a diferencia que esta trabaja a bajas velocidades, soporta menor valor de torque, y puede ser utilizada en espacios reducidos. También posee un mecanismo de doble trinquete que evita que gire en sentido contrario al seleccionado.

Tabla 3.

Especificaciones técnicas de ratchet neumático

Consumo nominal	3 CFM
Presión de operación	90 psi (6 Bar)
Entrada de aire	1/4" NPT

Nota. Los datos técnicos mostrados pueden variar, dependiendo de la raíz del *ratchet*. Obtenido de SUMIMSA (s.f.). *Herramienta Neumática y Compresores*. (p. 430.) SUMIMSA.

3.3.1.3. Martillo neumático de impacto

Los martillos neumáticos de impacto son las herramientas de corte más fuertes que existen, ya que su forma de trabajo es similar a la de un cincel. Esta herramienta fue diseñada para realizar trabajos que requieran corte de metales, perforado, desbastado o raspado.

Tabla 4.

Especificaciones técnicas de martillo neumático de impacto

Consumo nominal	2.1 CFM
Presión de operación	90 psi (6 Bar)
Entrada de aire	1/4" -18 NPT

Nota. Los datos técnicos mostrados pueden variar, dependiendo si el martillo es para trabajo liviano o pesado. Obtenido de SNAP-ON (s.f.). *Un Siglo de Soluciones.* (p. 560.) Snap-On Industrial.

3.3.1.4. Máquina desmontadora de llantas

Es una herramienta utilizada para montar y desmontar la llanta de su aro. Antiguamente esta actividad se llevaba a cabo de forma manual, usando la fuerza del operario. Con el avance de la tecnología la fuerza del operario fue sustituida por fuerza neumática.

Tabla 5.

Especificaciones técnicas para máquina desmontadora de llantas

Máquina desmontadora de llantas	
Presión de operación	90 a 100 psi
Consumo nominal	10 CFM

Nota. Los valores técnicos dependen del tamaño de la máquina y la capacidad. Obtenido de Black Bull Tools (2023). *Catálogo 2023.* (<http://bbt.com.gt/index.php/catalogo/equipo-para-taller/wt04194-detail>), consultado el 29 de marzo de 2023. De dominio público

3.3.1.5. Bomba neumática para pinchazo

Es una herramienta muy útil, ya que es la manera más sencilla, rápida y económica de conseguir el asentamiento del talón de la llanta en el aro. Las bombas neumáticas para pinchazo están compuestas por un tanque almacenador de aire a presión, el cual, al ser descargado dentro de la llanta, levanta la pestaña más difícil de la misma y la coloca en el asiento del talón, en el aro.

Tabla 6.

Especificaciones técnicas para bomba neumática para pinchazo

Bomba neumática para pinchazo	
Presión de operación	120 psi
Consumo nominal	10 CFM
Capacidad de almacenamiento	5 galones

Nota. La presión de operación es estándar y su capacidad depende del equipo, ya que puede haber más pequeños o grandes. Global Tools (2023). *Catálogo BBT 2023*. (<https://globaltoolsgt.com/products/bomba-neumatica-para-pinchazo-de-5-gals-120-psi-wtim001-bbt>), consultado el 29 de marzo de 2023. De dominio público

3.3.1.6. Inflador de neumáticos

En un instrumento que permite introducir aire comprimido a las llantas de un vehículo, el mecanismo de funcionamiento del instrumento está basado en una válvula que permite el paso del aire comprimido al ser accionada con el centro de la válvula de la llanta, es decir, la válvula del inflador es accionada con la válvula de la llanta.

Los primeros infladores de neumáticos eran más sencillos a los actuales, ya que los infladores de neumáticos modernos poseen un medidor de presión, el cual cumple la función de un calibrador de neumáticos.

Tabla 7.

Especificaciones técnicas para inflador de neumáticos

Inflador de neumáticos	
Presión de operación	120 psi

Nota. La presión de operación depende de la suministrada por el compresor o la regulada por el operario. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023.* (<https://www.truper.com/CatVigente/Accesorios-Para-Compresor-TRUPER-281.html#image-5>), consultado el 29 de marzo de 2023. De dominio público.

3.3.1.7. Engrasadora neumática

Como su nombre lo indica, es una herramienta que sirve para aplicar grasa en partes móviles. Esta herramienta inyecta grasa a presión en partes de difícil acceso debido a la presión de aire comprimido.

Las engrasadoras neumáticas ejecutan el proceso de engrasado a una gran velocidad. Son herramientas de gran potencia, robustas, duraderas y sobre todo facilitan el trabajo de engrase.

Tabla 8.

Especificaciones técnicas de engrasadora neumática

Engrasadora neumática	
Presión de operación	6 a 8 Bar (90 a 120 psi)
Entrada de aire	1/4" NPT

Nota. Datos técnicos para engrasadora de 30 L de capacidad. Obtenido de TOTAL (2023.). *Total Carbone One-Stop Tools Station.* (p. 127.) TOTAL Industrial.

3.3.1.8. Pistola de *flushing*

Un *flushing* es una tarea de mantenimiento que combina el lavado y lubricación del chasis de un vehículo, este servicio se realiza con el fin de eliminar los ruidos causados por el óxido, resequedad y suciedad en la suspensión del vehículo.

El lubricante utilizado para realizar esta labor de mantenimiento es aceite, y para aplicarlo se hace uso de una pistola de *flushing*. Esta herramienta es análoga a una pistola para pintar, ya que utiliza aire comprimido para dispersar el fluido lubricante.

Tabla 9.

Especificaciones técnicas para pistola de flushing

Pistola de <i>flushing</i>	
Presión de operación	90 psi
Consumo nominal	6.5 CFM
Entrada de aire	1/4" NPT

Nota. Información técnica igual a la de una pistola para limpieza de motores. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023*. (<https://www.truper.com/CatVigente/Pistolas-Sopleteadoras-Y-Para-Recubrimientos-TRUPER-280.html>), consultado el 30 de marzo de 2023. De dominio público.

3.3.1.9. Pistola para pintar

Para que el proceso de pintado sea más eficiente, se hace uso de aire comprimido y la herramienta que aprovecha este fluido es una pistola para pintar. La función de una pistola para pintar es pulverizar un fluido, este puede ser pintura, barniz o algún otro líquido, por medio de la presión de aire con el fin de aplicar dicho fluido en una superficie.

Tabla 10.

Especificaciones técnicas para pistola para pintar

Pistola para pintar	
Presión de operación	30 a 60 psi
Consumo nominal	6.5 CFM

Nota. El consumo y presión de aire comprimido de una pistola para pintar es regulada por el operario. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023.* (<https://www.truper.com/CatVigente/Pistolas-De-Aire-De-GRAVEDAD-Flujo-De-Aire-Controlado-TRUPER-291.html>), consultado el 30 de marzo de 2023. De dominio público.

3.3.1.10. Pistola de soplado

La limpieza es un factor muy importante, ya que la suciedad causa problemas estéticos, en la función del elemento y acelera la degradación de un material o pieza, por lo que se utilizan herramientas que efficienten esta labor.

La pistola de soplado es una herramienta que consiste en una pequeña pistola, de metal o de plástico, que al accionar su gatillo suelta aire a presión. Es utilizada para limpiar superficies y elementos de difícil acceso o que tienen impregnado materiales ajenos a la pieza, por ejemplo, polvo, residuos de líquidos, viruta de materiales, entre otros.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas para pistola de sopleteado

Pistola de sopleteado	
Presión de operación	90 a 120 psi
Entrada de aire	1/4" NPT

Nota. El consumo y presión de aire es regulado por el operario. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023.* (<https://www.truper.com/CatVigente/Juegos-De-Accesorios-Neumaticos-TRUPER-282.html>), consultado el 30 de marzo de 2023. De dominio público.

3.3.1.11. Pistola de lavado aire agua

Herramienta diseñada para lavar piezas o superficies con agua a presión, con la comodidad de regular la cantidad de aire o agua a pasar por la pistola, consiguiendo así regular la presión del chorro de agua y la pulverización de esta; es ideal para lavar superficies que poseen polvo, virutas o algún otro material ajeno a la pieza, sin dañar la misma.

Tabla 12.

Especificaciones técnicas para pistola de lavado aire agua

Pistola de lavado aire agua	
Presión de operación	90 psi
Entrada de aire	1/4" NPT

Nota. Datos técnicos de pistola neumática que puede aplicar agua o cualquier otro fluido que se encuentre a distancia de la zona de operación, ideal para lavar con fluidos jabonosos. Obtenido de Truper (2023). *Catálogo 2023.* (<https://www.truper.com/CatVigente/Pistolas-Sopleteadoras-Y-Para-Recubrimientos-TRUPER-280.html>), consultado el 01 de abril de 2023. De dominio público.

3.3.2. Cálculo de la presión

La presión de un sistema neumático está dividida en dos tipos, estas son las siguientes.

- Presión de servicio. Es la suministrada por el compresor o depósito acumulador y debe ser la existente en la red de distribución.
- Presión de trabajo. Es la necesaria por los equipos o herramientas

Para calcular la presión del compresor, se debe de establecer la presión máxima necesaria por un equipo o herramienta y la caída de presión que se presentará en la red de distribución y accesorios. La presión teórica se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P_{demanda} = P_{max} + P \quad \text{EC.1}$$

Donde:

$P_{demanda}$: Presión demandada por el sistema neumático [Psi]

P_{max} : Presión máxima requerida por un equipo o herramienta [Psi]

P : Caída de presión admisible (debe ser entre 3 % y 6 %) [Psi]

Para determinar la presión demandada se utilizará la Tabla 13, en donde se establecen las presiones necesarias por las herramientas que tentativamente utilizarán en el taller mecánico automotriz Estrada, de la cual se seleccionará la presión máxima requerida. Los datos establecidos en dicha tabla fueron seleccionados del inciso 3.3.1.

Tabla 13.

Presión requerida por herramienta

Herramienta	Presión [Psi]
Pistola de impacto	90
Ratchet neumático	90
Inflador neumático	120
Engrasadora neumática	90 – 120
Pistola de <i>flushing</i>	90
Pistola para pintar	30 – 60
Pistola de soplado	90 – 120
Pistola de lavado aire agua	90

Nota. Detalle de las presiones requeridas por los posibles equipos a utilizar en el Taller Mecánico Automotriz Estrada. Elaboración propia, realizado con Excel.

Se determina que la presión máxima requerida es de 120 psi. Con el valor de presión obtenido y mediante la ecuación 1, se obtiene lo siguiente.

$$P_{demanda} = P_{max} + P \quad \text{EC.1}$$

$$P_{demanda} = 120 + (120 * 6\%)$$

$$\mathbf{P_{demanda} = 127.2 \text{ Psi}}$$

Mediante el cálculo anterior, se obtiene que la presión de trabajo requerida es de 127.2 Psi.

3.3.3. Cálculo del caudal

El compresor a instalar debe ser capaz de satisfacer la demanda de aire comprimido, por lo que es necesario calcular el caudal requerido, este se obtiene mediante la suma del consumo de todos los equipos o herramientas más un 5 % por desgaste, más 10 % por fugas, más un 20 % o 30 % por futuras ampliaciones de la empresa.

Un factor importante por tomar en cuenta para el cálculo de la demanda de aire comprimido total es el factor de simultaneidad, este factor indica la probabilidad que un número de herramientas o equipos trabajen al mismo tiempo. La ecuación para calcular el caudal requerido por todos los equipos es la siguiente.

$$Q_T = Q + (Q * 5 \%) + (Q * 10 \%) + (Q * 30 \%) \quad \text{EC. 2}$$

Donde:

Q_T : Caudal total [CFM]

Q : Caudal requerido por todos los equipos o herramientas [CFM]

Para calcular el caudal requerido se utilizará la Tabla 14, en donde se establece el consumo necesario por las herramientas y su respectivo total, los datos establecidos en dicha tabla fueron seleccionados del inciso 3.3.1. Al consumo total necesario debe aplicársele un factor de simultaneidad, este se muestra en la Tabla 15.

Tabla 14.*Caudal requerido por herramienta*

Herramienta	Cantidad	Consumo [CFM]	Consumo total [CFM]
Pistola de impacto	2	4.4 - 9.5	8.8
Ratchet neumático	1	3	3
Inflador neumático	1	3	3
Engrasadora neumática	1	min. 1.5	1.5
Pistola de <i>flushing</i>	1	6.5	6.5
Pistola para pintar	1	6.5	6.5
Pistola de soplado	2	1.5	3
Pistola de lavado aire agua	1	3	3
TOTAL			35.3

Nota. Detalle del caudal de aire comprimido requerido por los posibles equipos a utilizar en el Taller Mecánico Automotriz Estrada. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 15.*Factor de simultaneidad*

Industria	Factor de simultaneidad
Fundiciones	55 a 60 %
Talleres mecánicos	40 a 45 %
Talleres de servicio	35 a 40 %
Astilleros	50 a 60 %
Construcciones metálicas	45 a 50 %
Construcciones varias	20 a 25 %

Nota. El valor del factor de simultaneidad dependiendo del tipo de industria. Obtenido de E. Carnicer. (1977). *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones.* (p. 206.) Gustavo Gili, S. A.

Se determina que el consumo total es de 35.3 CFM y utilizando el factor de simultaneidad global del 40 % para talleres mecánicos el caudal total requerido es de 14.12 CFM. Con el valor de caudal total requerido obtenido y a través de la ecuación 2, se obtiene lo siguiente.

$$Q_T = Q + (Q * 5\%) + (Q * 10\%) + (Q * 30\%) \quad \text{EC. 2}$$
$$Q_T = 14.12 + (14.12 * 5\%) + (14.12 * 10\%) + (14.12 * 30\%)$$
$$\mathbf{Q_T = 20.5 \quad CFM}$$

Por medio del cálculo anterior, se obtiene que el caudal de aire comprimido requerido es de 20.5 CFM.

3.3.4. Cálculo de diámetro de tubería

El diámetro de la tubería en una red de distribución de aire comprimido es de suma importancia, ya que este está directamente relacionado con las pérdidas de presión que sufre el fluido que circula por ella. Para calcular el diámetro óptimo se debe seguir una serie de pasos, estos se describen a continuación.

- Calcular la carga o consumo de aire comprimido por equipo o herramienta, esta se describe y detalla en el inciso 3.3.1.
- Determinar la presión (P_{demanda}) requerida en el sistema neumático, el cálculo se detalla en el inciso 3.3.2.
- Calcular el caudal (Q_T) de aire comprimido requerido en el sistema neumático. Este cálculo se detalla en el inciso 3.3.3.

- Calcular la pérdida de presión admisible, esta está dada por la variación de presión que puede presentar la red de distribución sin que cause ineficiencia en el funcionamiento de los equipos y herramientas neumáticas.
- Determinar la longitud equivalente, esta longitud es calculada debido a que los accesorios instalados en la red de distribución producen pérdida de presión y para facilitar su cálculo estos se relacionan con cierta longitud de tubo recto, esta relación se presenta en la tabla 16. Luego de obtener la longitud equivalente de los accesorios, esta se suma con la longitud real de tubería recta y así obtener la longitud equivalente de toda la red de distribución. Para el cálculo antes mencionado se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_{equivalente} = L_{tubería} + L_{accesorios} \quad \text{EC. 3}$$

Donde:

$L_{equivalente}$: Longitud equivalente total [m]

$L_{tubería}$: Longitud real de tubería recta [m]

$L_{accesorios}$: Longitud equivalente de accesorios [m]

Cabe destacar que para calcular la longitud equivalente es necesario seleccionar, de forma arbitraria, el diámetro de la tubería, ya que esta longitud varía según el diámetro.

Tabla 16.

Pérdida de presión en accesorios

Diámetro D	mm	pol	COTVELO 90° RAIO LONGO	COTVELO 90° RAIO MÉDIO	COTVELO 90° RAIO CURTO	COTVELO 45°	CURVA 90° RD - 1/2"	CURVA 90° RD - 1"	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VÁLVULA DE CAVETA ABERTO	VÁLVULA DE GLOBO ABERTO	VÁLVULA DE ÂNGULO ABERTO	TÉ PASSAGEM DIRETA	TÉ SAÍDA DE LADO	TÉ SAÍDA LATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
13	1/2		0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,8	0,4	1,1	1,6
19	3/4		0,4	0,6	0,7	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1		0,5	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,3	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4		0,7	0,9	1,1	0,5	0,6	0,8	0,4	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2		0,9	1,1	1,3	0,6	0,7	0,9	0,5	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2		1,1	1,4	1,7	0,8	0,9	1,1	0,7	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2		1,3	1,7	2,0	0,9	1,0	1,3	0,8	0,8	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3		1,6	2,1	2,5	1,2	1,3	1,6	1,1	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4		2,1	2,8	3,4	1,5	1,6	2,1	1,6	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	5		2,7	3,7	4,2	1,9	2,1	2,5	1,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6		3,4	4,3	4,9	2,3	2,4	3,0	2,3	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8		4,3	5,5	6,4	3,0	3,3	4,1	3,0	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10		5,5	6,7	7,9	3,8	4,1	5,0	3,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12		6,1	7,9	9,5	4,6	5,0	6,0	4,6	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14		7,3	9,5	10,5	5,3	5,4	6,5	5,3	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para registros de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga

Nota. Los valores de longitud equivalente están expresados en metros. Obtenido de J. De Azevedo (1991). *Manual de Hidráulica*. (p. 127.) Edgard Blücher LTDA.

- Determinar el factor de tubería, este valor será constante a lo largo de los siguientes cálculos y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$R = \frac{P_{demanda} + P_{atmosférica}}{P_{atmosférica}} \quad \text{EC. 4}$$

Donde:

R: Factor de tubería [Psi]

P_{demanda}: Presión demandada por el sistema neumático [Psi]

P_{manométrica}: Presión atmosférica, tomada como 14.7 Psi

- Determinar el factor de pérdida (F), este valor es un parámetro utilizado para calcular la pérdida por fricción en la tubería que conduce aire comprimido. Se establece por medio del diámetro de la tubería, en pulgadas, y el caudal de aire comprimido requerido en el sistema neumático, en CFM, con estos datos se selecciona el factor de pérdida (F) en la Tabla 17.

Tabla 17.*Factor de pérdida (F)*

CFM	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	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

Nota. El valor del factor de pérdida cambia según los CFM y el diámetro de la tubería. Obtenido de A. Ávila (s.f.). *Folleto instalaciones mecánicas.* (p. 12.)

- Calcular la pérdida de presión en la tubería, esta se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P = \frac{F * Lequivalente}{R * 1000} \quad \text{EC. 5}$$

Donde:

P : Pérdida de presión en la tubería [Psi]

F : Factor de pérdida

$Lequivalente$: Longitud equivalente total [ft]

R : Factor de tubería [Psi]

- Establecer el porcentaje de pérdida de presión, este cálculo se realiza con la finalidad de determinar si las pérdidas de presión se encuentran dentro del rango aceptable. Este porcentaje se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\% P = \frac{P}{P_{demanda}} * 100 \quad \text{EC. 6}$$

Donde:

$\% P$: Porcentaje de pérdida de presión

P : Pérdida de presión en la tubería [Psi]

$P_{demanda}$: Presión demandada por el sistema neumático [Psi]

- Analizar si el porcentaje de pérdida de presión está dentro de los parámetros aceptables, de ser mayor, se deberá realizar todo el proceso de cálculo con un diámetro de tubería mayor. Este proceso se realiza hasta conseguir que las pérdidas de presión se establezcan dentro del rango permisible.

Establecidos los pasos a seguir para calcular el diámetro de tubería de la red de distribución, se procederá a calcular el diámetro de la tubería a instalar en

el sistema neumático del Taller Mecánico Automotriz Estrada. Para ello se establecen los datos iniciales en la Tabla 18, estos tomados del inciso 3.2., 3.3.1., 3.3.2. y 3.3.3.

Tabla 18.

Datos iniciales

Dato	Valor
Presión demandada [Psi]	127.2
Caudal total requerido [CFM]	20.5
Longitud de tubería principal [m]	4.2
Longitud de tubería secundaria [m]	56.3
Longitud de tubería de servicio [m] (c/u)	1.6
Presión atmosférica [Psi]	14.7

Nota. Detalle los datos necesarios para iniciar con el cálculo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con datos de la tabla anterior y ecuación 4 se procederá a calcular el factor de tubería y para ello se obtiene lo siguiente.

$$R = \frac{P_{\text{demanda}} + P_{\text{atmosférica}}}{P_{\text{atmosférica}}} \quad \text{EC. 4}$$

$$R = \frac{127.2 + 14.7}{14.7}$$

$$R = 9.65$$

Por medio del cálculo anterior, se obtiene que el factor de tubería es de 9.65.

Para seguir con el cálculo del diámetro de tubería se realizará la primera iteración, para ello se establecen los datos de la Tabla 19.

Tabla 19.

Datos iniciales para primera iteración

Dato	Valor
Longitud de tubería principal	4.2 m / 13.78 ft
Longitud de tubería secundaria	56.3 m / 184.71 ft
Longitud de tubería de servicio	1.6 m / 5.25 ft
Diámetro de tubería principal	3/4 in
Diámetro de tubería secundaria	1/2 in
Diámetro de tubería de servicio	1/2 in
Caudal total requerido	20.5 CFM
Caudal máximo en tubería de servicio	10 CFM
Factor de tubería	9.65

Nota. Recopilación de datos necesarios para realizar la primera iteración del cálculo del diámetro de las tuberías a utilizar. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con los datos de la tabla anterior y Tabla 17, se iniciará calculando el factor de pérdida (F). Con ello se obtiene lo siguiente.

- Factor de pérdida (F) para tubería principal: 30.4
- Factor de pérdida (F) para tubería secundaria: 202
- Factor de pérdida (F) para tubería de servicio: 50.7

Posteriormente se calculará la pérdida producida por accesorios, está por medio de la Tabla 19 y Tabla 16. Con ello se obtienen las Tablas 20, 21 y 22.

Tabla 20.

Longitud equivalente para accesorios de tubería principal

Accesorio	Cantidad	L. Equi. [m]	L. Equi. [ft]	L. Equi. total [m]	L. Equi. total [ft]
Válvula de paso	1	3.6	11.81	3.6	11.81
Codo de 90° radio largo	2	0.4	1.31	0.8	2.62
Te	1	1.4	4.59	1.4	4.59
TOTAL				5.8	19.02

Nota. El diámetro utilizado para calcular la longitud equivalente es de 3/4" Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 21.

Longitud equivalente para accesorios de tubería secundaria

Accesorio	Cantidad	L. Equi. [m]	L. Equi. [ft]	L. Equi. Total [m]	L. Equi. total [ft]
Válvula de paso	1	2.6	8.53	2.6	8.53
Codo de 90° radio largo	29	0.3	0.98	8.7	28.42
Te	9	1	3.28	9	29.52
TOTAL				20.3	66.47

Nota. El diámetro utilizado para calcular la longitud equivalente es de 1/2" Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 22.

Longitud equivalente para accesorios de tubería de servicio

Accesorio	Cantidad	L. Equi. [m]	L. Equi. [ft]	L. Equi. Total [m]	L. Equi. Total [ft]
Válvula de paso	2	2.6	8.53	5.2	17.06
Codo de 90° radio largo	2	0.3	0.98	0.6	1.96
Te	1	1	3.28	1	3.28
TOTAL				6.8	22.3

Nota. El diámetro utilizado para calcular la longitud equivalente es de 1/2" Elaboración propia, realizado con Excel.

Utilizando el total obtenido en las Tablas 20, 21 y 22 de longitud equivalente por accesorios, el valor de longitud real de tubería recta, contenido en la Tabla 16, y utilizando la ecuación 3, se obtiene lo siguiente.

- Para tubería principal

$$L_{equivalente} = L_{tubería} + L_{accesorios} \quad \text{EC. 3}$$

$$L_{equivalente} = 13.78 + 19.02$$

$$\mathbf{L_{equivalente} = 32.8 [ft]}$$

- Para tubería secundaria

$$L_{equivalente} = L_{tubería} + L_{accesorios} \quad \text{EC. 3}$$

$$L_{equivalente} = 184.71 + 66.47$$

$$\mathbf{L_{equivalente} = 251.18 [ft]}$$

- Para tubería de servicio

$$L_{equivalente} = L_{tubería} + L_{accesorios} \quad \text{EC. 3}$$

$$L_{equivalente} = 5.25 + 22.3$$

$$\mathbf{L_{equivalente} = 27.55 [ft]}$$

Por medio de los cálculos anteriores, se obtiene que la longitud equivalente total de la tubería principal es de 32.8 ft, la tubería secundaria de 251.18 ft y la tubería de servicio 27.55 ft.

Con los valores obtenidos de los cálculos anteriores y ecuación 5 se procederá a calcular las pérdidas de presión en la tubería, con ello se obtiene lo siguiente.

- Para tubería principal

$$P = \frac{F * L_{equivalente}}{R * 1000} \quad \text{EC. 5}$$

$$P = \frac{30.4 * 32.8}{9.65 * 1000}$$

$$\mathbf{P = 0.10 [Psi]}$$

- Para tubería secundaria

$$P = \frac{F * L_{equivalente}}{R * 1000} \quad \text{EC. 5}$$

$$P = \frac{202 * 251.18}{9.65 * 1000}$$

$$\mathbf{P = 5.26 [Psi]}$$

- Para tubería de servicio

$$P = \frac{F * L_{equivalente}}{R * 1000} \quad \text{EC. 5}$$

$$P = \frac{50.7 * 27.55}{9.65 * 1000}$$

$$\mathbf{P = 0.14 [Psi]}$$

Con la sumatoria de los valores obtenidos de los cálculos de pérdida de presión en la tubería, datos de la Tabla 18 y ecuación 6 se procederá a calcular el porcentaje de pérdidas de presión, con ello se obtiene lo siguiente.

$$\Delta P = 0.1 + 5.26 + 0.14$$

$$\mathbf{\Delta P = 5.5 [Psi]}$$

$$\% P = \frac{P}{P_{demanda}} * 100 \quad \text{EC. 6}$$

$$\% P = \frac{5.5}{127.2} * 100$$

$$\mathbf{\% P = 4.32 \%}$$

Por medio del cálculo anterior, se obtiene que el porcentaje de pérdida de presión es de 4.32 %.

Al analizar el valor obtenido para el porcentaje de pérdida de presión, se determina que este se encuentra dentro del rango de pérdida de presión aceptable para un sistema neumático, por lo que los diámetros de tubería seleccionados arbitrariamente son correctos.

Luego de realizar la serie de cálculos y análisis para determinar el diámetro de tubería de la red de distribución de aire comprimido, se establece que el diámetro de tubería a utilizar para la instalación de la red de distribución del sistema neumático del Taller Mecánico Automotriz Estrada es el siguiente.

- Diámetro para tubería principal: 3/4 in
- Diámetro para tubería secundaria: 1/2 in
- Diámetro para tubería de servicio: 1/2 in

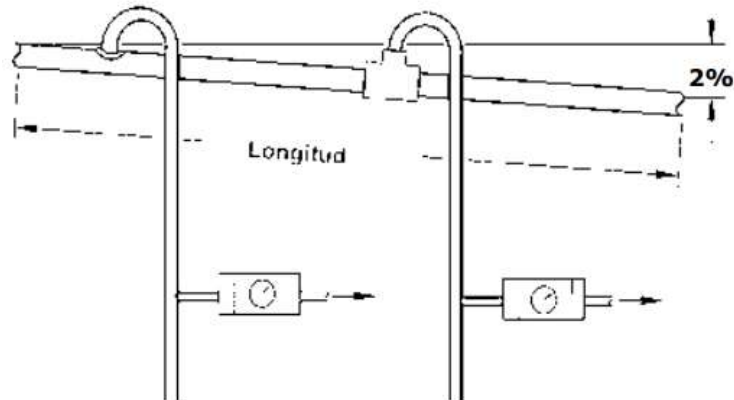
3.4. Instalación de tuberías principales, secundarias y de servicio

Las tuberías que transportan aire comprimido deben ser instaladas de manera adecuada, ya que una mala instalación producirá ineficiencia en el sistema. Toda tubería debe ser instalada de acuerdo con la infraestructura de las instalaciones de la institución.

Las tuberías secundarias y principal deben ser instaladas con cierta pendiente a favor del flujo para que el agua condensada sea evacuada con facilidad en los puntos de drenaje, esta pendiente debe oscilar entre 1 % y 2 %, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7.

Instalación de tuberías



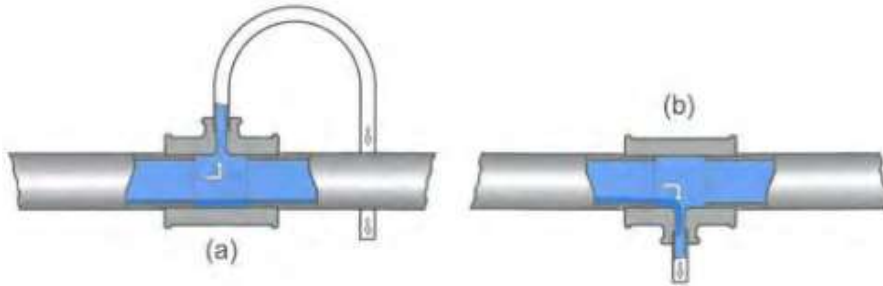
Nota. La pendiente de la tubería debe estar a favor de la dirección del flujo. Obtenido de A. Morales (s.f.). *Diseño de redes.* (p. 82)

Las tuberías de servicio deben ser derivadas de la parte superior de la tubería secundaria, como se muestra en la Figura 8, esto con la finalidad de evitar que el condensado sea arrastrado hasta los puntos de servicio. Las líneas de servicio deben tener una línea de evacuación de condensado y una línea de suministro de aire comprimido.

Las líneas de drenaje se diferencian de las demás tuberías de la red, ya que estas se derivan de la parte inferior de la tubería, como se muestra en la Figura 8, esto con la finalidad de evacuar la mayor cantidad de agua condensada posible.

Figura 8.

Instalación de tuberías de servicio y drenaje



Nota. La ilustración a) muestra la instalación de las tuberías de servicio y la ilustración b) la instalación de las tuberías de drenaje. Obtenido de SMC International Training. (2002). *Neumática, 2a ed.* (p. 54.) Paraninfo.

Las tuberías deben tener instalados soportes a lo largo de la instalación, estos deben ser acordes al fluido que transportan, ya que algunos producen vibraciones y algún tipo de dilatación. Existen diversos tipos de soportes, entre ellos se encuentran los soportes de abrazaderas, varillas, de tensores de ajuste, entre otros.

Todo soporte de tubería debe estar sujeto a una base sólida, resistente y rígida, estas deben poseer un nivel de alineación adecuado ya que en algunas ocasiones los soportes tienen rodillos y las tuberías deben mantener cierta inclinación.

Los soportes deben instalarse cerca de los cambios de dirección de la tubería, pero no próximos a válvulas o unidades de control de flujos, la instalación de estos debe ser apegada a dos condiciones, estas son:

- La luz horizontal no debe ser tan larga, ya que puede producir un sobreesfuerzo en la pared del soporte
- La inclinación de la tubería debe ser respetada y en sentido descendiente con la finalidad de facilitar la evacuación de agua condensada

Para instalar los soportes también se utiliza la Tabla 23, esta muestra la distancia recomendada entre soportes según el diámetro de la tubería, esta distancia puede ser horizontal o vertical.

Tabla 23.

Distancia entre soportes de tubería

Diámetro De tubería	HORIZONTAL (m)	VERTICAL (m)
1/4"	1,25	1
1/2 "	1,75	1,25
3/4"	2,7	1,75
1 1/4"	3	2,5
1 1/2"	3	2,5
2"	3,5	2,75
3"	3,5	3
4"	3,5	3
6"	4,25	3,5
10"	5,18	4,25
12"	5,48	4,87
1 1/4"	3	2,5
1 1/2"	3	2,5

Nota. La distancia entre soportes depende del diámetro de la tubería. Obtenido de R. Rosaler (1993). *Manual de mantenimiento industrial.* (p. 97.) McGraw-Hill.

La tubería que forma la red de distribución del sistema neumático a instalar en el taller mecánico automotriz Estrada debe ser capaz de soportar 127.2 Psi, según cálculos, sin embargo, se utilizará un factor de seguridad del 15 % por lo que la tubería debe ser resistente a 150 Psi como mínimo, y tendrá una pendiente de 1.5 %.

Según la Tabla 23 y el diámetro de tubería, los soportes de la tubería principal serán instalados cada 2.7 m y los de las tuberías secundarias cada 1.75 m.

3.5. Instalación de unidad de mantenimiento

Luego de realizado el proceso de compresión, almacenamiento y distribución del aire comprimido, este debe pasar por un último proceso, antes de ser usado para producir trabajo, conocido como acondicionamiento del aire.

El acondicionamiento del aire se lleva a cabo en la unidad de mantenimiento, también llamada unidad FRL, está conformada por el filtro, regulador de presión, manómetro y un lubricador.

Todo sistema neumático debe utilizar esta unidad de mantenimiento, ya que permite a los componentes trabajar en óptimas condiciones y prolongar la vida útil de los mismos.

Es importante que la unidad FRL se instale lo más cerca posible al punto de utilización del aire, es decir, antes que entre el aire al equipo o herramienta de trabajo.

Para instalar una unidad de mantenimiento, Automatización Micromecánicas S.A.I.C. (s.f.) explica que se deben seguir una serie de recomendaciones, estas se describen a continuación.

- Asegurarse que el suministro de aire comprimido no supere los límites de presión, temperatura y caudal, estos establecidos por el fabricante de la unidad de mantenimiento.
- No instalar la unidad FRL cerca de fuentes de calor
- Cada equipo neumático o suministro de aire comprimido debe poseer una unidad de mantenimiento independiente y lo más cerca posible.
- Instalar las unidades a una altura adecuada y de fácil acceso, ya que constantemente se requiere regular la presión y drenar condensado.
- Montar la unidad FRL en sentido del flujo, estas poseen flechas que indican el sentido, de no ser así no cumplirán con su función.
- La instalación debe ser de forma alineada y nivelada, sin estar expuesta a esfuerzos.
- No instalar las unidades de mantenimiento en lugares que estén expuestos a vapores de solvente, aceites o combustibles.

3.6. Instalación de compresor y depósito acumulador de aire comprimido

Todos los sistemas neumáticos deben disponer de un depósito de aire comprimido, este instalado entre el compresor y la red de distribución a la distancia más corta posible del compresor. Puede ser montado de forma horizontal o vertical.

Este elemento permite almacenar aire comprimido con la finalidad de satisfacer las demandas que superen la capacidad del compresor y minimizar la operación, encendido-apagado, del mismo. También funciona como sistema de enfriamiento del aire, con ello se precipita el aceite y la humedad proveniente del compresor.

El depósito acumulador de aire comprimido debe contar con válvula de seguridad, manómetro, válvula purgadora de condensado y tapaderas de inspección o de limpieza.

El tamaño del depósito depende del caudal generado por el compresor, la demanda de consumo de aire comprimido y el tamaño del sistema donde esté instalado. La capacidad de este también está determinada por el tipo de regulación del compresor, ya que si el compresor es de regulación automática el depósito no podrá tener una capacidad menor a la del caudal generado y, si el compresor es de regulación por válvula piloto la limitante es la diferencia de presión a la que trabaja dicha válvula.

Frecuentemente en las pequeñas y medianas empresas se utilizan compresores instalados sobre el depósito acumulador de aire comprimido, es

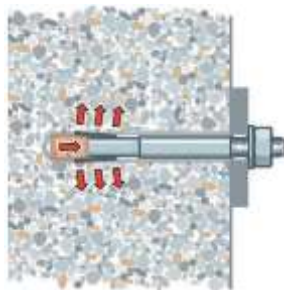
decir, el depósito posee una base en la cual va anclado el compresor por medio de pernos o tornillos de sujeción.

La instalación del depósito acumulador depende mucho del espacio disponible, ya que de esto depende si se instalará de forma horizontal o vertical, sin embargo, sin importar la orientación seleccionada, el depósito debe instalarse en un lugar sólido, nivelado y que tenga la capacidad de poder sujetar dicho elemento al piso.

Para sujetar el depósito acumulador de aire comprimido se emplean comúnmente dos métodos, el primero consiste en fundir pernos en el piso de la sala de compresores y el segundo se basa en instalar pernos de anclaje. Estos últimos son instalados de forma práctica y fácil, ya que su instalación consiste en perforar el concreto en donde se instalará y posteriormente introducir el perno, este se anclará al concreto por medio de expansión al momento de ir apretando la tuerca de sujeción, como se ilustra en la Figura 9.

Figura 9.

Pernos de anclaje



Nota. Los pernos de anclaje pueden ser instalados en superficies de concreto verticales u horizontales. Obtenido de Torres Andrea, WÜRTH. (2022). *Los anclajes perfectos para hormigón.* (<https://www.wurth.es/blog/anclajes-perfectos-hormigon/>), consultado el 27 de abril de 2023. De dominio público.

El compresor por instalar en el taller mecánico automotriz Estrada será montado sobre el depósito acumulador de aire comprimido, este debe ser capaz de suministrar 20.5 CFM y proveer una presión de 127.2 Psi. Comúnmente un compresor produce 4 CFM por cada HP, por lo que se requiere un compresor de 5 HP para cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente.

El depósito acumulador de aire comprimido se instalará en la oficina del taller mecánico automotriz, el cual se sujetará al piso de dicho recinto por medio de pernos de anclaje.

3.7. Costo e inversión en el sistema neumático

Para llevar a cabo la implementación del sistema neumático en el Taller Mecánico Automotriz Estrada se deben comprar todos los insumos, accesorios y equipos necesarios para instalar dicho sistema.

En las siguientes tablas se muestra una cotización detallada de los insumos y equipos requeridos para la instalación del sistema neumático, cabe destacar que la tubería a utilizar es PVC de alta resistencia.

Tabla 24.

Cotización de compresor

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Compresor de 5 HP	1	Q.17,042.94	Q.17,042.94

Nota. El precio del compresor no estaba en oferta ni aplicaba a algún descuento. Adaptado de TIHISA (2023). *Tienda en línea*. (<https://www.tihisa.com/1020-compresores-de-aire-neumaticos>), consultado el 27 de abril de 2023. De dominio Público.

Tabla 25.*Cotización de equipos para sistema neumático*

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Acople rápido para aire	7	Q.49.99	Q.349.93
Filtro con regulador	1	Q.244.99	Q.244.99
Unidad de mantenimiento	7	Q.459.99	Q.3,219.93

Nota. Presupuesto de los equipos necesarios para instalar el sistema neumático en el Taller Mecánico Automotriz Estrada. Adaptado de CEMACO (2023). *Tienda en línea.* (<https://www.cemaco.com/buscar?q=compresor>), consultado el 27 de abril de 2023. De dominio Público.

Tabla 26.*Cotización de materiales para red de distribución*

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Abrazadera de tubo 1/2"	35	Q.2.8	Q.98.0
Abrazadera de tubo 3/4"	3	Q.2.8	Q.8.4
Adaptador hembra roscado 1/2"	7	Q.1.7	Q.11.6
Codo de 1/2"	18	Q.1.3	Q.23.4
Codo de 3/4"	2	Q.2.0	Q.3.9
Hoja de papel lija	2	Q.4.1	Q.8.1
Llave de paso 1/2"	18	Q.37.0	Q.665.1
Llave de paso 3/4"	1	Q.36.0	Q.36.0
Niple reductor de 1/2" a 1/4"	9	Q.47.0	Q.422.6
Pegamento de PVC 1/8 gal.	1	Q.115.0	Q.115.0
Reductor de 3/4" a 1/2"	2	Q.1.7	Q.3.3

Continuación de la tabla 26.

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Reductor de 3/4" a 1/2" roscado	2	Q.4.5	Q.8.9
Tarugos	100	Q.0.2	Q.24.6
Te de 1/2"	16	Q.1.8	Q.28.0
Te de 3/4"	1	Q.2.4	Q.2.4
Teflón de 1/2"	3	Q.2.2	Q.6.6
Tornillos	100	Q.0.2	Q.16.4
Tubo 1/2" de 6m	13	Q.28.0	Q.363.5
Tubo 3/4 de 3m	1	Q.22.0	Q.22.0
Tubo 3/4" de 6m	1	Q.34.0	Q.34.0
Unión 1/2"	6	Q.1.1	Q.6.3
Unión universal 1/2"	10	Q.15.0	Q.149.5
Unión universal 3/4"	2	Q.25.0	Q.49.9

Nota. Presupuesto de los materiales necesarios para instalar la red de distribución de aire comprimido del sistema neumático en el Taller Mecánico Automotriz Estrada. Adaptado de EPA (2023). *Tienda en línea.* (<https://gt.epaenlinea.com/construccion.html?cat=74>), consultado el 27 de abril de 2023. De dominio Público.

4. MANEJO DE STOCK DE REPUESTOS

Toda empresa debe contar con un stock, ya sea de productos, repuestos, materia prima o cualquier artículo que la empresa requiera, con el propósito de venderlo o utilizarlo dentro de la misma organización. La importancia de contar con un stock de repuestos es no limitarse en el desempeño de actividades, tales como producción o mantenimiento.

Un stock se define como la cantidad de cualquier artículo o producto que una empresa o individuo posee y que puede disponer de ellos en el momento que sea necesario. Según Montes López J. (2014) señala que se comprende al stock coloquialmente como “a la disponibilidad inmediata de un producto para su uso en producción o para su venta” (p. 15).

Existen distintas razones por las cuales una empresa considera ventajoso manejar un stock de repuestos, las principales ventajas definidas por Ballou (2004):

- Mejoramiento del tiempo de respuesta y servicio al cliente
- Reducción indirecta de costos de producción, de compra y de transporte
- Reducción de costos de operación

- Implementación de mecanismos para responder a factores externos o internos inesperados. (p. 328-330)

Sin embargo, también existen desventajas al mantener un stock dentro de la organización, algunas desventajas definidas por Ballou (2004):

- Absorción excesiva de capital sin adicionar un valor significativo al producto.
- Enmascaramiento de problemas de calidad.
- Dificultad para el diseño integrado de las cadenas de abastecimiento (p. 330).

Todo stock debe llevar un control, este se consigue mediante el registro documentado de los productos que componen el stock, es decir, mediante un inventario. El inventario registra de forma detallada la existencia de un producto dentro de la empresa, en él se encuentran datos como el número de unidades en existencia, descripción del artículo, precios unitarios, entre otros.

Existen sistemas de gestión que permiten llevar el control total de un stock, uno de ellos es la gestión de inventarios, esta consiste en administrar los inventarios de manera que funcionen con la mayor efectividad y eficiencia, y al menor costo posible.

Dentro de estos sistemas de gestión también se encuentra el sistema de gestión de repuestos, el cual administra específicamente un stock de repuestos. Esta gestión es la más importante dentro de un departamento de mantenimiento o empresa que vende servicios de mantenimiento y reparación, ya que dentro de sus actividades se encuentran las siguientes:

- Compra de repuestos. Esta actividad conste en:
 - Definir técnicas que establezcan las necesidades de repuestos
 - Estimar el plazo de entrega de los productos adquiridos
 - Cotizar y buscar el mejor precio para una misma calidad y un mismo producto.
 - Evaluar la calidad de los proveedores, esta evaluación debe ser con base en el costo y calidad del producto, tiempo demorado para la entrega del producto y políticas de venta.
- Gestión de bodegas. Consiste en la organización y dirección de los procesos de almacenamiento, recepción, control del stock, preparación de pedidos y despacho de repuestos. Dentro de las principales actividades a cargo de esta gestión se encuentran las siguiente:
 - Registrar el artículo adquirido en el catálogo de repuestos
 - Establecer un lugar a los repuestos
 - Analizar indicadores de gestión de stock

- Analizar las necesidades de repuestos dentro de bodega y emitir la solicitud de compra.
- Almacenamiento de repuestos. Esta actividad consiste en asignar un lugar acorde a las necesidades de seguridad y calidad de un repuesto o artículo, ya que hay artículos que requieren espacios libres de agua o contaminantes y algunos otros deben ser almacenados en lugares seguros debido a que pesan demasiado y pueden ocasionar accidentes.

Un stock representa un fondo económico que no presenta algún retorno, ya sea en ganancia o en inversión, hasta que alguno de los artículos o repuestos que lo forman deja de ser parte del stock, ya sea porque fue vendido o utilizado dentro de la empresa.

Debido a lo expuesto anteriormente, es importante manejar un stock de repuestos de forma efectiva y para ello se deben tener en cuenta algunos puntos de vista.

4.1. Puntos de vista para el manejo de stock

El manejo de un stock de repuestos depende en gran medida de dos puntos de vista, ya que dependiendo de cual se tome como base así deberán ser las decisiones y puntos de análisis en la gestión del stock y de los inventarios.

A continuación, se detallan los puntos de vista para el manejo de un stock.

4.1.1. Punto de vista técnico

Desde el punto de vista técnico, un stock de repuestos debe contener la mayor cantidad de repuestos posible, ya que así se garantiza la disponibilidad de los equipos que prestan servicio en una industria. Este punto de vista da tranquilidad al personal de mantenimiento, ya que tienen la certeza de poseer un stock en exceso y así poder cubrir cualquier emergencia que se presente durante el mantenimiento de un equipo o producción.

Sin embargo, este punto de vista posee algunas desventajas, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Alto costo de almacenamiento. Este costo incluye gastos generados en mano de obra utilizada para gestionar y manejar el amplio stock, sistema informático, bodega para almacenaje, compra de seguros por robo, obsolescencia y deterioro de mercadería, entre otros.
- Incremento de costos de transporte de mercadería. Hay que tomar en cuenta que entre más repuestos se adquieran, mayor será el gasto por el transporte de repuestos desde las tiendas de los proveedores hasta las bodegas de la empresa.
- Espacios de almacenamiento grandes y con mayor equipo. Cuando se tiene stock de repuestos en exceso se debe contar con bodegas amplias y que cuenten con equipos que faciliten el movimiento y control de mercaderías, tal es el caso de montacargas y equipo de manejo de carga.

Uno de los problemas típicos al manejar un stock de repuestos con base a este punto de vista es que puede existir mucho de los que no se consume y carecer de lo que se precisa o más se utiliza.

4.1.2. Punto de vista económico

El tema económico en una empresa es de suma importancia y el principal departamento afectado al sufrir reducciones de presupuesto es el departamento de mantenimiento, es por ello por lo que se deben buscar métodos que vuelvan eficiente la cantidad económica asignada a dicho departamento, uno de ellos es manejar el stock de repuestos desde el punto de vista económico.

Este punto de vista maneja al stock desde la perspectiva que entre menos artículos contenga el stock es mejor, ya que así garantiza que menos dinero estará inmovilizado y así este fondo económico no utilizado se pueda invertir en alguna otra cosa.

La principal idea de este punto de vista es pedir la menor cantidad de repuestos posible pero lo suficiente para no interrumpir períodos de mantenimiento o alargar tiempos de venta de servicios por falta de insumos en el stock.

El objetivo de manejar un stock desde este enfoque es reducir el costo de mantener un amplio stock, pero al mismo tiempo, brindar seguridad de la disponibilidad de existencia de productos para la empresa y de esta manera no perder eficiencia en la producción o venta de servicios de una industria.

Existen diferentes ventajas al manejar un stock de repuestos utilizando este punto de vista, siendo las principales las siguientes:

- Reducción de costos de almacenamiento
- Menor costo de mano de obra utilizada para la gestión y manejo del stock
- Se invierte el dinero necesario y así evitar inmovilizaciones económicas innecesarias.
- Costo de seguros económicos, menos probabilidad de pérdida por productos defectuosos y que hayan sufrido daño durante el transporte.
- Costo de transporte de mercadería menor

Sin embargo, la principal desventaja es que el manejo del stock debe ser cuidadoso y eficiente, ya que un error en la compra o transporte de un repuesto podría atrasar todo un proceso y así volver ineficiente el stock, por lo que para la gestión de un stock manejado desde el punto de vista económico se deben tomar en cuenta algunos criterios sumamente importantes.

4.2. Criterios para el manejo de stock de repuestos

Para manejar un stock de repuestos, independientemente el punto de vista utilizado, deben de tomarse en cuenta algunos criterios, ya que con base en ellos se establecerán los repuestos a adquirir y la cantidad de estos.

Para establecer estos criterios hay que tener en cuenta que los extremos son malos, ya que si se tiene en exceso los costos de manejo de stock serán mayor, pero si se tiene poco, se tiene gran probabilidad de perder ventas o ralentizar la producción en una empresa.

4.2.1. Importancia del repuesto o insumo

Dentro de un stock de repuestos se manejan distintas clases de piezas y para poseer un mejor control de ellas, estas se clasifican de acuerdo con su importancia, siendo esta clasificación la siguiente:

- Clase A. Esta clase engloba a toda aquella pieza que sea importante para una máquina o algún área específica dentro de la institución. Este tipo de clasificación también enmarca a todos los repuestos que son necesarios mantener dentro del stock, ya que la carencia de estos provocaría grandes pérdidas para la empresa.
- Case B. Contiene a los repuestos que poseen una importancia media, estos repuestos deben estar debidamente localizados ya que en cualquier momento serán requeridos y no debe de tardar su ubicación y entrega al área o personal que los necesite.
- Clase C. Esta clasificación está formada por los repuestos que tienen una importancia menor dentro del stock. Estas piezas no requieren de mayor atención, ya que su ausencia no representa mayor pérdida para la empresa y tampoco son requeridos con tanta frecuencia.

Dentro de cada ítem descrito anteriormente se deben clasificar los repuestos de acuerdo con su responsabilidad dentro de un equipo, siendo esta clasificación la siguiente.

- Elementos sometidos a desgaste. Dentro de esta clasificación se encuentran los rodamientos, retenedores, tuberías, entre otros.

- Consumibles. Contiene a todos aquellos productos que deben ser reemplazados con frecuencia o periódicamente, entre ellos se encuentran los filtros, aceites, bujías, zapatas y pastillas de freno, fajas, cadenas, entre otros.
- Elementos de regulación y mando. Engloba a los repuestos que sirven para regular presión, flujo, volumen y demás, entre estos se pueden encontrar los termostatos, presostatos, temporizador, flujómetros, reguladores de voltaje, entre otros. Y elementos de mando, por ejemplo, interruptores, conmutadores, selectores, pulsadores, entre otros.
- Elementos móviles. Esta clasificación alberga a piezas como engranajes, poleas, pistones de motor, bielas, entre otros.
- Componentes electrónicos y eléctricos. Formado por todas aquellas piezas que trabajan con electricidad, ya sea de forma parcial o total, dentro de esta clasificación se encuentran los relés, resistencias electrónicas y eléctricas, protecciones eléctricas, tarjetas de control, transistores, fuentes de alimentación, entre otras.
- Elementos estructurales. Contiene las piezas que brindan soporte, resistencia y rigidez a una estructura o máquina, dentro de ellas se encuentran los marcos, estructuras para polipasto, vigas, columnas, planchas de soporte, cargadores de motor, entre otras.

4.2.2. Necesidad de existencia

La necesidad de existencia en un stock regula el flujo entre las salidas y entradas de un artículo, con la finalidad de garantizar que siempre que un técnico o área de una empresa solicite un insumo sea proporcionado.

Toda empresa quisiera que el flujo de insumos de un stock fuera igual en las entradas y en las salidas, pero esto no es posible, ya que el proceso de compra y abastecimiento de bodegas requiere de un tiempo específico. Por lo que se debe prever contar con un mínimo de existencias de artículos para que el stock no carezca de estos y así evitar rupturas en las salidas.

La necesidad de existencia establece qué productos deben permanecer dentro de las bodegas de repuestos, para establecer estos artículos se toman en cuenta algunos aspectos, entre ellos se encuentran los siguientes:

- Criticidad del artículo en los equipos o sistemas de producción. Esta depende de la importancia que tenga el producto dentro de un equipo, ya que la carencia de este podría provocar rupturas en los procesos de producción o servicios.
- Plazos de aprovisionamiento. Representa el tiempo transcurrido desde que se realiza la compra hasta que el producto es almacenado en el lugar correspondiente dentro de la bodega, listo para ser utilizado.
- Costos de los artículos. Cada artículo posee un costo diferente, por lo que se debe de prever su compra debido a que no siempre se cuenta con el capital disponible para su adquisición.

- Tipo de proveedor. Existen distintos tipos de proveedores, estos pueden ser nacionales o extranjeros. Dependiendo del proveedor así será el tiempo demorado para la entrega de un producto.

Cuando se establece la necesidad de existencia de un producto también se toma en cuenta la frecuencia con la que se utiliza este, ya que no puede existir menos de lo que se utiliza durante un periodo de compra.

Desde el punto de vista de la compra y específicamente para un stock de repuestos, la existencia puede establecerse de acuerdo con:

- Estandarización. Representa a toda aquella pieza que tenga las mismas características y dimensiones, y que pueda ser utilizada en diferentes equipos. Estos tipos de repuestos pueden ser adquiridos con diferentes proveedores ya que son piezas estándar.
- Especificaciones del fabricante. Engloba a los artículos que deben cumplir con características y dimensiones establecidas por el fabricante y, por consiguiente, deben ser adquiridas con el mismo, ya que si el proveedor es distinto se corre el riesgo que cambien las especificaciones de la pieza.
- Especificaciones a medida. Existen piezas que deben ser fabricadas de acuerdo con medidas tomadas por un técnico, estas pueden ser fabricadas en cualquier taller especializado y difícilmente se encontrarán con proveedores de repuestos fabricados por lote.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, un stock de repuestos puede manejarse de la mejor forma posible, ya que de esta manera puede asegurarse la existencia de insumos y establecerse la necesidad de estos,

independientemente si son productos para diferentes máquinas o áreas de la empresa.

4.3. Control y ubicación de repuestos

Todo stock de repuestos necesita ser administrado de forma eficiente y para lograr esto se debe llevar un control estricto de los productos, esto se consigue teniendo un inventario de repuestos. Adicionalmente, se tiene que contar con un lugar específico para almacenar los repuestos que forman el stock, con ello se logrará tener un orden para los productos.

Para evitar un desbalance de los inventarios es necesario implementar un sistema con estrategias adecuadas de control, algunas opciones son las siguientes:

- Utilizar sistemas computarizados de pronóstico de demanda de productos, con ellos se podrá estimar con precisión el promedio y la variabilidad de la demanda de un artículo.
- Medir de forma adecuada los tiempos de reposición de repuestos y sus posibles variantes.
- Implementar el sistema ABC para establecer la importancia del producto
- Tener en cuenta aspectos importantes como el ciclo de vida del producto, plazos de pago y los descuentos asociados a una mercadería, naturaleza del proceso de producción del insumo, entre otros.

- Controlar las compras voluminosas, ya que no siempre se cuenta con el capital disponible.
- Evitar comprar en exceso mercadería que no es importante o que se utiliza con poca frecuencia.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta al momento de llevar un control de inventarios es que este proceso, junto con el almacenamiento del producto, requiere de una inversión de alrededor del 15 % y 30 % de los costos totales de logística, por lo que este debe realizarse de la mejor manera posible y tratando de reducir los gastos al mínimo.

Sin embargo, con el control de inventarios se logran obtener ahorros significativos en algunos otros costos, por ejemplo, en transporte, compra y producción, entre otros.

4.3.1. Inventario de repuestos

Un stock de repuestos necesita tener un control eficiente debido a que dependiendo de este así será la gestión del stock. El inventario llevará el control documentado y detallado de la cantidad de unidades en existencia, precio unitario, especificaciones del producto, entre otras.

Según Jordi Pau Cos y Ricardo de Navascués. (2001) señalan que “la política de inventarios se centra en la forma en que se van a manejar los niveles de stock de los productos; ello incluye las decisiones relativas a la ubicación de esos productos” (p. 87).

Existen diversos modelos de llevar el control de un inventario de repuestos, la más eficiente es de acuerdo con la importancia del repuesto, ya que así se asegurará que los artículos importantes y que se utilizan con mayor frecuencia siempre estén presentes en la bodega.

A continuación, se encuentra una tabla que muestran las políticas y métodos de control según la importancia de los productos dentro de un stock.

Tabla 27.

Control de inventario según clasificación ABC

Características	Políticas de control	Métodos de control
• Ítems clase A (los más importantes) • Relativamente pocos ítems • El mayor porcentaje del volumen de ventas (en \$)	• Control estricto con supervisión personal • Comunicación directa con la administración y los proveedores • Aproximación a <i>JIT</i> e inventario balanceado • Cubrimiento de existencias entre 1 y 4 semanas	• Monitoreo frecuente o continuo • Registros precisos • Pronósticos con suavización exponencial doble • Políticas basadas en el nivel de servicio al cliente
• Ítems clase B • Ítems importantes • Volumen de ventas (en \$) considerable	• Control clásico de inventarios • Administración por excepción • Cubrimiento de existencias entre 2 y 8 semanas	• Sistema de control computarizado clásico • Pronósticos con suavización exponencial simple • Reporte por excepciones
• Ítems clase C • Muchos ítems • Bajo volumen de ventas (en \$), pocos movimientos o ítems de muy bajo valor unitario	• Supervisión mínima • Pedidos bajo orden • Tamaños de orden grandes • Políticas de cero o de alto inventario de seguridad • Cubrimiento de existencias entre 3 y 20 semanas	• Sistema de control simple • Promedio móvil (aceptar el pronóstico) • Evitar agotados y exceso de inventario • Larga frecuencia de órdenes • Sistema automático

Nota. Información de las políticas y métodos de control de acuerdo con la clasificación ABC. Obtenido de C. Vidal (2010). Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios. (p.81) Programa editorial.

En cuanto a un modelo de control de inventario, García, & Tamayo (2017) explican que, independientemente cual modelo sea el empleado, busca dar respuesta a algunas interrogantes clave, estas son las siguientes:

- ¿Cada cuánto debe de revisarse el inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe comprarse en cada pedido?

Dando respuesta a la primera pregunta descrita anteriormente, un inventario puede ser revisado por medio de dos sistemas básicos: la revisión continua y la revisión periódica. A continuación, se muestra una tabla que hace comparación entre los dos sistemas básicos de revisión.

Tabla 28.

Comparación de tipos de revisión de stock

<i>Revisión continua</i>	<i>Revisión periódica</i>
• Es muy difícil en la práctica coordinar diversos ítems en forma simultánea.	• Permite coordinar diversos ítems en forma simultánea, lográndose así economías de escala significativas, por ejemplo, cuando se le compran al mismo proveedor.
• La carga laboral es poco predecible, ya que no se sabe exactamente el instante en que debe ordenarse.	• Se puede predecir la carga laboral con anticipación a la realización de un pedido, ya que se sabe cuándo va a ocurrir.
• La revisión es más costosa que en el sistema periódico, especialmente para ítems de alto movimiento.	• La revisión es menos costosa que en la revisión continua, ya que, en general, es menos frecuente.
• Para ítems de bajo movimiento, el costo de revisión es muy bajo, pero el riesgo de información sobre pérdidas y daños es mayor.	• Para ítems de bajo movimiento, el costo de revisión es muy alto, pero existe menos riesgo de falta de información sobre pérdidas y daños.
• Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un menor inventario de seguridad que el sistema de revisión periódica (Protección sobre L).	• Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un mayor inventario de seguridad que el sistema de revisión continua (Protección sobre $R + L$).

Nota. Comparación de revisión continua y periódica. Obtenido de C. Vidal (2010). Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios. (p.226) Programa editorial.

4.3.1.1. Formato para inventario de repuestos

Todo inventario debe tener un formado previamente establecido, ya que este servirá para llevar el control detallado de los productos existentes en la bodega de repuestos.

Para llevar el inventario de repuestos pertenecientes al stock del Taller Mecánico Automotriz Estrada se utilizará el formato ilustrado en la Figura 18. Este formato se llenará de la siguiente manera:

- Código de fábrica: en él se anotará el código con el que fue manufacturada la pieza o producto, este es único por lo que solo piezas iguales poseerán el mismo.
- Producto: contendrá el nombre del producto a registrar
- Descripción: en este apartado se anotarán datos técnicos del producto, como, por ejemplo, dimensiones, marca del producto, con que vehículo o equipo es compatible, entre otras.
- Unidades: se registrará la cantidad de unidades existentes en bodega o almacenes
- Precio unitario de compra: cantidad económica cancelada por la adquisición de un producto
- Precio unitario de venta: cantidad económica recibida al momento de vender un producto
- Fecha: día en la cual se realizó el inventario de repuestos
- Hoja No. número que le corresponde a la hoja de inventario utilizada, este depende del correlativo de hojas ya utilizadas en un mismo inventario.

Formato para hoja de inventario de stock de repuestos

Nota. El formato se utilizará en el Taller Mecánico Automotriz Estrada para llevar control del stock de repuestos. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3.2. Ubicación estratégica

Se conoce como ubicaciones a aquellos espacios destinados a alojar un producto. La ubicación de productos dentro de un almacén o bodega tiene el objetivo de reducir al máximo las distancias y manipulaciones necesarias para llevar un producto hasta el área requerido.

La ubicación estratégica de un producto busca utilizar al máximo el espacio disponible, sin embargo, este espacio debe satisfacer algunas condiciones específicas, tales como:

- Seguridad del producto y, sobre todo, del personal que las manipula o que labora cerca de este.
- Reducción de peligros por incendios o incompatibilidades en los productos almacenados en un mismo lugar.
- Tamaño y material apropiado de estanterías, ya que no todo el material soporta la misma carga y hay productos más grandes que otros.
- Condiciones climáticas adecuadas, ya que hay productos que al estar expuestos a excesos de agua o calor se deterioran o quedan inservibles.
- Establecer zonas de máxima rotación

Dentro de un almacén o bodega es recomendable ubicar los productos de acuerdo con zonas, cada una de ellas debe establecerse de acuerdo con su índice de utilización, es decir, la zona A contendrá a todos los productos que se

utilizan con mucha frecuencia, la zona B ubicará a los utilizados con menor frecuencia y así sucesivamente.

4.3.2.1. Rotulación de ubicación de repuestos

Cada ubicación dentro de un almacén debe estar debidamente identificada, existen diversas formas de identificarlas, estas pueden ser mediante letras, números o códigos específicos.

En el Taller Mecánico Automotriz Estrada se identificarán las ubicaciones mediante letras, estas contenidas en pequeños rótulos de identificación. Cada rótulo tendrá un tamaño y color adecuado, de modo que las letras puedan leerse con facilidad y claridad. A continuación, se muestra un ejemplo de los rótulos que se utilizarán para la identificación de la ubicación de repuestos.

Figura 10.

Ejemplo de rotulación de ubicación de repuestos



Nota. El formato se utilizará en el Taller Mecánico Automotriz Estrada para identificar la ubicación de los repuestos dentro de la bodega. Elaboración propia, realizado con Canva.

CONCLUSIONES

1. La eficiencia de un sistema neumático se logra mediante la implementación de los pilares del ahorro energético, estos consisten en estandarizar y ajustar la presión de trabajo, sectorizar las áreas operativas, monitorear el funcionamiento de todo el sistema, especialmente las fugas de aire comprimido, y establecer la calidad del aire comprimido. También es importante tomar en cuenta otros aspectos como lo es el diseño del sistema ya que una sobredimensión genera consumo excesivo de energía, y utilizar una estrategia de control del compresor eficiente, esta depende de la cantidad de compresores instalados, diseño y dimensión del sistema, y de la demanda de aire comprimido.
2. Para que el diseño del sistema neumático satisfaga las necesidades del Taller Mecánico Automotriz Estrada se deben analizar aspectos importantes, entre ellos se encuentra la infraestructura de las instalaciones y el medio ambiente que las rodea, esto debido a que dependiendo de estos aspectos así se diseñará el sistema de distribución de aire comprimido, si es en red abierta o cerrada, y el tipo de tubería a utilizar. También se debe tomar en cuenta la demanda de aire comprimido a utilizar, la presión de operación y el tamaño del equipo generador de aire comprimido.
3. Para implementar un sistema neumático es necesario contar con planos, en ellos se establecen las medidas, posicionamiento y estructura de cada elemento del sistema neumático diseñado. Dentro de los planos elaborados se encuentra el plano de la línea principal, secundaria y de

servicio, plano del sistema neumático completo y el plano del compresor. Cabe destacar que cada uno de ellos fue elaborado tomando en cuenta la infraestructura de las instalaciones del Taller Mecánico Automotriz Estrada y con tubería instalada de forma aérea.

4. Mediante los cálculos realizados se determinó que el sistema de distribución de aire comprimido contará con tubería principal de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, secundaria y de servicio de $\frac{1}{2}$ " de diámetro. La demanda de aire comprimido estipulada es de 20.5 CFM, utilizando un coeficiente de simultaneidad del 40%, y presión de operación de 127.5 Psi. Con la demanda y presión de aire comprimido se calculó que el compresor idóneo a instalar es de 5 hp.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el sistema neumático siempre bajo los pilares del ahorro energético para que sea rentable económicamente a la empresa. Siempre que aparezca una fuga de aire comprimido repararla de forma inmediata y así evitar pérdidas energéticas y con ellas económicas, siempre será más barato reparar una fuga que pagar el costo del aire comprimido generado. Para que el sistema neumático se mantenga en óptimas condiciones y se tenga un sistema eficiente se sugiere implementar un programa de mantenimiento detallado y estricto, con ello se garantizará la inversión realizada para implementar el sistema de aire comprimido y se asegurará su disponibilidad.
2. Tomar en cuenta para futuras ampliaciones o rediseño del sistema neumático, la infraestructura de las instalaciones y las condiciones ambientales en las que se encuentre el taller, ya que estos factores podrían afectar de forma negativa en el rendimiento y durabilidad del sistema. Por otro lado, el dimensionamiento del sistema trabajarlo de manera exacta y así evitar el consumo energético excesivo e invertir más de lo necesario.
3. Modificar el sistema neumático requiere actualizar los planos del sistema, ya que estos en cualquier momento sirven para identificar elementos o son utilizados como herramienta de análisis para posibles soluciones a problemas en el sistema.

4. Reparar la tubería del sistema neumático tiene como norma utilizar el diámetro establecido para cada línea de suministro y así evitar caídas de presión inadmisibles. Cuando el sistema requiera modificaciones realizar cálculos matemáticos para determinar el diámetro de tubería idóneo a instalar, de igual manera, calcular si las condiciones del sistema neumático soportan los cambios a implementar, ya que un aumento en la presión o caudal podría dañar los componentes y tuberías que no se modificarán.

REFERENCIAS

- Automatización Micromecánicas S.A.I.C. (s.f.). *Introducción a la neumática: Curso 21. MICRO*.
- Bellou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministros*. Pearson Educación.
- Carnicer, E. (1977). *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Gustavo Gili, S. A.
- Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, CONNUE. (2009). *Guía para ahorrar energía en sistemas de aire comprimido*. Secretaría de energía.
- De Azevedo, J., Fernandez, M., Araujo, R., & Ito, A. (1998). *Manual de hidráulica (8ª ed.)*. Editora Edgard Blücher Ltda.
- Estrada, J. (2015). *Plan estratégico de Taller Mecánico Automotriz Estrada*
- García, I. & Tamayo, J. (2017). *Modelo de control y gestión de inventarios para una tienda comercializadora de presupuestos ubicada en una estación de servicio en el norte del Valle de Cauca*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle Sede Zarzal]. Archivo digital. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/13829/05/67390.pdf;sequence=1>

- Gutiérrez, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de aire comprimido en taller automotriz GP Revolutions*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4674/1/Mario%20Alfredo%20Gutierrez%20P%C3%A9rez.pdf>
- López, J. (2014). *Unidad Formativa 0476: Gestión de inventarios (5.1 ed.)*. Editorial Elearning S.L.
- Pau, J. & Navascués, R. (2001) *Manual de logística integral*. Ediciones Díaz de Santos.
- Rodríguez, E. (2005). *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática de la empresa Turboservicios de C.A., S. A.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0471_M.pdf
- SMC España, S.A. (2002). *Neumática (2ª. ed)*. Paraninfo.
- Snap-On. (s.f.). *Un siglo de soluciones*. Snap-On Industrial.
- Soc, G. (2019). *Rediseño del sistema de distribución de aire comprimido en empresa de calzado Euro Calzado, S. A.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/328335218.pdf>
- Vidal, C. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Programa editorial Universidad del Valle.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Preparación de tuberías de servicio



Nota. Cada tubería de servicio está compuesta por dos llaves de paso, una unión universal y una unidad de mantenimiento. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Instalación de tuberías



Nota. La tubería secundaria fue instalada con una pendiente de 1.5 % en dirección al fluido y la tubería de servicio posee un cuello de ganso. Elaboración propia.

Apéndice 3.

Instalación de soportes de tubería



Nota. La tubería de servicio cuenta con un soporte en forma de alza y sobre este está instalada la abrazadera de sujeción de tubería. Elaboración propia.

Apéndice 4.

Tubería de drenaje de tanque de almacenamiento



Nota. La tubería de drenaje del tanque de almacenamiento está instalada en el fondo de dicho tanque y cuenta con una llave de paso. Elaboración propia.

Apéndice 5.

Instalación de compresor



Nota. El compresor está instalado sobre el tanque de almacenamiento y este está sujeto al piso por medio de tornillos de sujeción por anclaje expansivo y almohadillas de hule para aislar las vibraciones producidas por el compresor. Elaboración propia.

Apéndice 6.

Línea principal de aire comprimido



Nota. A la salida del compresor está instalada la válvula general y posteriormente, entre uniones universales, un filtro de aire comprimido. Elaboración propia.