



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

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN
EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S.A.**

Gerson Mauricio Soc Boj

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN
EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GERSON MAURICIO SOC BOJ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 21 de septiembre de 2017.



Gerson Mauricio Soc Boj



Guatemala, 06 de noviembre de 2018
REF.EPS.DOC.926.11.18.

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

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gerson Mauricio Soc Boj** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201313678, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S. A.**

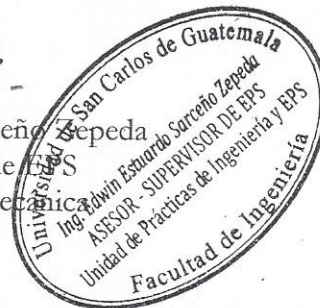
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de E.P.S.
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EDSZ/ra



Guatemala, 06 de noviembre de 2018
REF.EPS.D.435.11.18

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

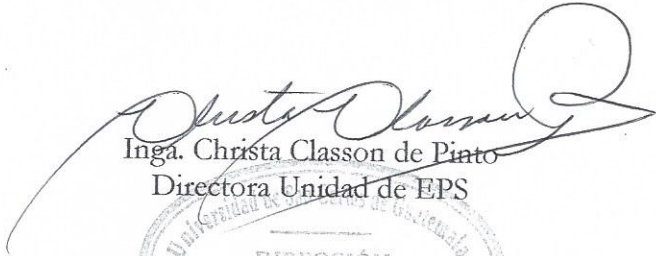
Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S. A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Gerson Mauricio Soc Boj** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero 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 Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.037.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S.A.** del estudiante **Gerson Mauricio Soc Boj**, CUI No. **2226728620110**, Reg. Académico No. **201313678** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala febrero de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

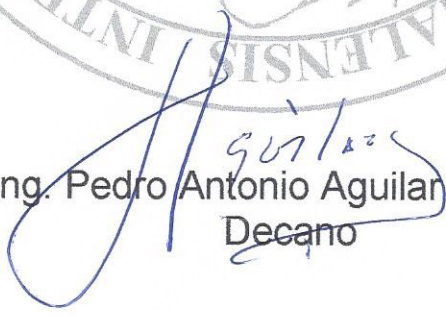


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.84.2019

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 del trabajo de graduación titulado: **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO EN EMPRESA DE CALZADO EURO CALZADO, S.A.”** presentado por el estudiante universitario: **Gerson Mauricio Soc Boj** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Febrero de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque sin él nada de esto fuere posible. La Gloria y honra sea para él.
- Mis padres** Mauricio Soc y Gloria Boj por su apoyo y ayuda incondicional en cualquier meta que me propongo.
- Mis hermanos** Sthepani y Eliú Soc Boj por su amistad y ayuda.
- Mi familia** A toda mi familia que de alguna manera influyeron o ayudaron en mi formación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera y como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera y abrirme las puertas del conocimiento.
Mis amigos de la Facultad	Jose Castellanos, Jose Mencos, Jorge Delio, Eduardo Jerez y Christian Aguilar.
Euro Calzado, S.A.	Por abrirme las puertas para realizar mi trabajo final.
Ing. Edwin Sarceño	Por su ayuda como asesor durante el ejercicio profesional supervisado.
Ing. Enrique Vega	Por la confianza que me brindó para abrirme las puertas de la empresa.
Ing. Mynor Sanchinelli	Por su ayuda en mi proyecto final y durante la realización de EPS.
Ing. Luis Gómez	Por su ayuda y apoyo en la etapa final de la licenciatura.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Inicios de la empresa en Guatemala	1
1.2. Información general.....	2
1.2.1. Ubicación	2
1.2.2. Misión	2
1.2.3. Visión.....	3
1.2.4. Valores	3
1.3. Compresores	4
1.3.1. Compresores de flujo intermitente	4
1.3.2. Compresores de flujo continuo	6
1.4. Elementos del sistema de aire comprimido	7
1.5. Tipos de distribución de red.....	11
1.5.1. Red abierta	12
1.5.2. Red o circuito cerrado.....	12
1.5.3. Red interconectada.....	13
1.6. Transporte o tuberías	14
1.6.1. Tubería principal.....	14
1.6.2. Tuberías secundarias	15

1.6.3.	Tuberías de servicio	15
1.6.4.	Clases de tubería	16
1.6.4.1.	Tuberías rígidas	16
1.6.4.2.	Tuberías semirígidas.....	16
1.6.4.3.	Tuberías flexibles	17
1.6.5.	Soporte de tubería.....	17
1.7.	Accesorios de tubería.....	18
1.8.	Fundamentos teóricos para diseño de red	20
1.8.1.	Instalación de puntos de servicios.....	22
1.8.2.	Instalación de drenajes de condensados	22
1.9.	Longitud de tubería	23
1.9.1.	Longitud equivalente	23
1.10.	Pérdidas por fricción en la tubería.....	26
1.11.	Cálculo de diámetro teórico de tubería.....	27
1.12.	Cálculo de presión teórica.....	29
1.13.	Maquinaria para fabricación de calzado.....	30
1.13.1.	Foliadora	31
1.13.2.	Remachadora.....	31
1.13.3.	Máquina de puntera termo plástica	32
1.13.4.	Premoldeador de talón	32
1.13.5.	Premoldeador de puntas	33
1.13.6.	Vaporizador de puntas	34
1.13.7.	Montadora de puntas	34
1.13.8.	Montadora de lados.....	35
1.13.9.	Horno secador.....	36
1.13.10.	Estabilizador frío.....	36
1.13.11.	Prensa de bolsa	37
1.13.12.	Moldeadora de cuello	38
1.13.13.	Inyectora de suelas	39

1.13.14.	Preconformadora de Corte	40
1.13.15.	Flama.....	41
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	43
2.1.	Diagnóstico situacional.....	43
2.2.	Diagnóstico de demanda de aire comprimido.....	43
2.2.1.	Modelo de ficha técnica para máquinas	45
2.2.2.	Caudal de consumo por máquinas	46
2.2.3.	Demanda de presión	48
2.3.	Cálculo de eficiencia del sistema actual	49
2.4.	Justificación	52
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	55
3.1.	Selección de red de distribución.....	55
3.2.	Planos de diseño para red de distribución de aire.....	56
3.3.	Selección de tubería.....	60
3.4.	Selección de accesorios.....	61
3.5.	Selección de soporte para tubería.....	64
3.6.	Cálculo de demanda de caudal y presión.....	68
3.7.	Cálculo de longitud de tubería	70
3.8.	Cálculo de pérdidas.....	71
3.9.	Cálculo de diámetro de tubería.....	72
3.10.	Cálculo y selección del compresor	78
3.11.	Costos e inversión	79
4.	FASE DOCENTE	85
4.1.	Mantenimiento de red de distribución de aire comprimido.....	85
4.1.1.	Conservación de las unidades de mantenimientos	86

4.1.2.	Fugas en la tubería	87
4.1.3.	Modelo de bitácoras para control del mantenimiento.....	90
4.2.	Seguridad industrial.....	93
4.2.1.	Medidas preventivas	95
4.2.2.	Identificación de líneas de aire	97
4.2.3.	Equipo de protección personal	100
CONCLUSIONES.....		103
RECOMENDACIONES		105
BIBLIOGRAFÍA.....		107
APÉNDICES.....		109
ANEXOS.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de compresores.....	4
2.	Componentes básicos de un sistema de aire comprimido.	7
3.	Selección de tratamiento según las necesidades.	8
4.	Unidad de mantenimiento F.R.L.....	11
5.	Configuración abierta y su inclinación.	12
6.	Circuito cerrado.....	13
7.	Red interconectada.	14
8.	Tipos de tubería en una red de distribución.	15
9.	Soporte para tuberías.....	18
10.	Accesorios de tuberías.....	19
11.	Pendiente de instalación para tubería.....	20
12.	Curva de radio largo.....	21
13.	Instalación de puntos de distribución y drenajes de condensados.....	22
14.	Maquinarias estándar en línea de producción de calzado.	30
15.	Remachador neumática.	31
16.	Máquina de puntera termoplástica.	32
17.	Premoldeador de talón.....	33
18.	Premoldeador de puntas.....	33
19.	Vaporizador de puntas.	34
20.	Montadora de puntas.	35
21.	Horno secador.....	36
22.	Estabilizador frío.	37
23.	Prensa de bolsa.	38

24.	Moldeadora de cuellos.....	38
25.	<i>Atta injection</i> , inyectora de suelas.....	39
26.	Preconformadora de corte.	40
27.	Flama.....	41
28.	Diagrama actual de la red distribución del aire	53
29.	Plano de distribución de aire comprimido.	58
30.	Planos de las líneas de servicio.....	59
31.	Soporte seleccionado para tuberías.	64
32.	Soporte de tubería en columna metálica.	66
33.	Soporte de tubería en columna de concreto.	67
34.	Personal administrativo y de mantenimiento de la empresa.....	85
35.	Unidad de F.R.L. sin mantenimiento.....	86
36.	Distribución de las fugas en la red de aire comprimido.....	88
37.	Modelo de ficha técnica.	90
38.	Modelo de bitácora.	91

TABLAS

I.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería.	24
II.	Valor de accesorios en codos equivalentes.....	25
III.	Tabla factores (f) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.	26
IV.	Modelo de ficha técnica para máquina neumática.....	45
V.	Modelo de ficha técnica para máquina neumática.....	45
VI.	Consumo de aire comprimido, montado 1 y 2.	46
VII.	Consumo de aire comprimido, montado 3.	47
VIII.	Consumo de aire comprimido, corte y costura.....	47
IX.	Presión de trabajo de equipo neumático.....	48

X.	Accesorios de tubería para sistema de distribución de aire comprimido.....	63
XI.	Líneas de servicio (sumatoria de accesorios para todas las líneas de servicio).....	63
XII.	Distancia entre soporte según diámetro.....	65
XIII.	Consumo de caudal por área de trabajo.....	68
XIV.	Presión máxima requerida por maquinaria.....	69
XV.	Longitudes de las líneas de aire.....	70
XVI.	Accesorios para tubería principal diámetro 1 ¼”.....	73
XVII.	Accesorios para tubería de distribución o secundaria.....	73
XVIII.	Longitud equivalente accesorios para línea de servicio.....	74
XIX.	Cálculo longitud equivalente tubería principal diámetro 1 ½”.....	76
XX.	Cálculo longitud equivalente tubería principal diámetro 1 ¼”.....	76
XXI.	Datos para selección de compresor.....	78
XXII.	Costo elementos de preparación del aire comprimido.....	79
XXIII.	Costo de tubería para red principal y secundaria.....	80
XXIV.	Costo tubería de servicio.....	81
XXV.	Inversión total del proyecto.....	81
XXVI.	Retorno de inversión.....	82
XXVII.	Pérdidas aproximadas por fugas.....	87
XXVIII.	Color de identificación de las tuberías.....	98
XXIX.	Tamaño de letras de identificación de tuberías.....	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballo de fuerza
cm	Centímetro
kw	Kilo watts
l/s	Litros por segundo
Long	Longitud
m	Metro
mm	Milímetro
Núm	Número
ft	Pies
CFM	Pies cúbicos por minuto
P	Presión
Psi	Presión sobre pulgada cuadrada
"	Pulgada

GLOSARIO

Aire comprimido	Se produce en máquinas llamadas compresores. Es el aire que se toma del medio ambiente, al que se le eleva la presión desde la atmosférica a una presión mayor, a base de reducir el volumen antes ocupado y este se almacena en un depósito hasta alcanzar la presión del compresor.
Aire libre	Es aire en condiciones de presión y temperatura reinantes en la aspiración del compresor.
Capellada	Puntera de los zapatos.
Caudal	Cantidad de líquido que circula, los caudales se expresan en volúmenes por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo y son variables en el tiempo y el espacio.
Condensado	Destilado, que es enfriado de su vapor y convertido al estado líquido por medio de un condensador.
Presión atmosférica	La ocasiona el peso del aire libre, se mide con un barómetro, normalmente a nivel del mar equivale a 14.7 Psi.
<i>Fitting:</i>	Acoples rápidos o racores.

RESUMEN

Euro calzado, S.A. es una empresa dedica a la industria del calzado, actualmente se producen sandalias y zapatos en su mayoría para mujer. La empresa inicio en el 2007, siendo proveedora principal de ventas por catálogo. La empresa tuvo un gran crecimiento, por lo cual cuenta con dos líneas de montado de zapato y varios procesos que ayudan a la fabricación del mismo, como lo son corte, maquilado y troquelado.

Debido al proceso, la mayoría de máquinas empleadas usan como fuente de energía principal aire comprimido. Los procesos de pintura o aplicación de adhesivo influyen en gran media en la calidad del producto final. El diseño de red actual no tuvo un diseño inicial. Actualmente afecta: el funcionamiento correcto de máquinas; deficiencia en el transporte del aire y la calidad del aire suministrado. Por consiguiente se debe de corregir aplicando un rediseño de las líneas de distribución del aire comprimido.

El nuevo diseño aplico conocimientos teóricos en el diseño de redes de aire comprimido, cálculos matemáticos y un estudio de la demanda de caudal actual y producción de caudal de aire comprimido. Para tener y disminuir errores del sistema actual.

Entre los resultados aplicando los conceptos mencionados anteriormente, tiene como finalidad una mejor calidad y eficiencia en el transporte de aire, dando una mejor calidad al producto final y además de trabajadores mejores capacitados.

OBJETIVOS

General

Rediseñar del sistema de distribución de aire comprimido en empresa de calzado Euro Calzado, S.A.

Específicos

1. Elaborar un diagnóstico del consumo de aire comprimido e identificando el diseño del sistema distribución actual, planteando soluciones de común acuerdo con el departamento de ingeniería.
2. Realizar un nuevo diseño para líneas de distribución de aire comprimido, mediante cálculos matemáticos y fundamentos teóricos, ambos adecuados a la arquitectura de las instalaciones y ubicaciones de equipos en la planta de producción para mantener la presión y calidad en cualquier punto de servicio.
3. Capacitar al personal de supervisión y personal técnico, en el correcto uso y manejo del aire comprimido mediante: buenas prácticas de mantenimiento y medidas de seguridad industrial.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el aire comprimido como fuente de energía es muy utilizado por la industria en general y esta no es la excepción para la industria del calzado. Los sistemas de aire comprimido requieren cierta calidad de pureza la cual depende de los trabajos a realizar. Para esto deben de emplearse los accesorios necesarios y el sistema de distribución debe de ser lo más óptimo para el transporte del fluido.

En el presente trabajo se presentan los métodos utilizados para obtener el rediseño y los aspectos a tomar en cuenta en la instalación del sistema de distribución del aire comprimido y este pueda suplir las necesidades de la empresa de la manera más eficiente, corrigiendo a su vez, errores frecuentes en este tipo de suministro de energía.

Asimismo, se muestran formas de cómo elaborar y organizar los datos recabados necesarios para lograr un correcto diseño. Se ha elaborado una breve descripción de las unidades compresoras para realizar un correcto estudio y selección de la unidad compresora a utilizar. También se hace mención a las normas de seguridad en el ámbito del tema y otros aspectos de considerable relevancia.

1. GENERALIDADES

1.1. Inicios de la empresa en Guatemala

Euro calzado, inició como un pequeño taller que elaboraba sandalia como proveedor alterno para uno de los mayores distribuidores de venta por catálogo, las instalaciones eran un área asignada en otra fábrica de calzado perteneciente al mismo grupo en las bodegas de Mixco Norte (km 16,5 carretera San Juan Sacatepéquez, zona 6 de Mixco), en esa época manejaban un personal de 10 personas aproximadamente, formaba parte de la empresa con el nombre de Comercialza.

En el 2007 por falta de espacio y ampliación, se trasladaron a las instalaciones donde actualmente se encuentra ubicada la planta, donde la producción creció aumentando su personal a 20 trabajadores. En el 2008 se convirtió en el proveedor principal del distribuidor de venta por catálogo con el cual habían estado trabajando y Comercialza ya no fue capaz de sufragar los gastos que se generaban, lo cual conllevó el 18 de noviembre del 2009 a independizarse de Comercialza y convertirse en Euro calzado y seguir creciendo. Actualmente la fábrica cuenta con 100 trabajadores en el área de producción y 10 administrativos.

1.2. Información general

Euro Calzado, S.A. cuenta actualmente con cuatro módulos de costura, una línea de montado para sandalias o zapatos y una línea exclusiva de montado de zapatos por medio de adhesión o inyección de suelas. La planta también cuenta con módulos de troquelado, corte láser y otros departamentos para la producción y calidad del producto final.

1.2.1. Ubicación

Actualmente la empresa cuenta con un complejo industrial, las cuales se encuentra en un complejo industrial, junto a una empresa hermana llamado Euro suelas, S.A. Ubicado en el Km 17,9 carretera a San Juan Sacatepéquez, zona 6 de Mixco, Guatemala. En las bodegas cuatro, cinco y seis.

1.2.2. Misión

Brindar a nuestros clientes el mejor producto mediante la innovación en diseño y calidad, utilizando los mejores recursos, procesos y mano de obra altamente cualificada, valorizando la empresa a través del desarrollo integral de nuestra gente, en armonía con la sociedad y el medio ambiente, para garantizarnos el crecimiento continuo y rentable.

1.2.3. Visión

Alcanzar el liderazgo en el mercado nacional de la producción de calzado, anticipándonos a las necesidades y superando las expectativas de nuestros clientes, buscando su plena satisfacción, dentro de un marco de responsabilidad social empresarial que mejore la calidad de vida de nuestros colaboradores y cumplan con las expectativas de la empresa.

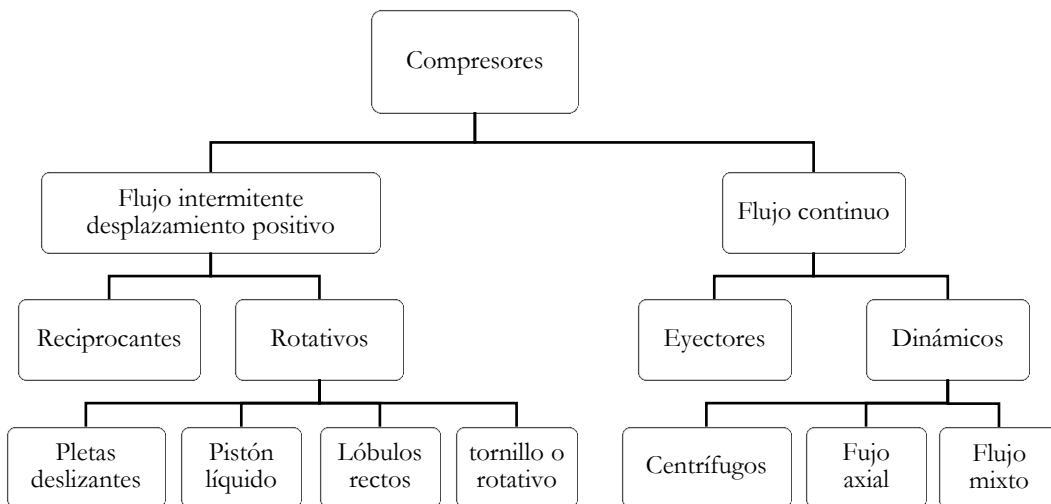
1.2.4. Valores

- Honestidad: actuar siempre de forma veraz y honrada en la relación, trato, y la comunicación con los demás, dentro del ambiente laboral.
- Responsabilidad: procedemos con seriedad y compromiso a la realización de las actividades para el desarrollo de nuestros deberes y el cumplimiento de nuestros derechos.
- Respeto: actuar reconociendo los derechos y la dignidad de nuestros colaboradores y las instituciones públicas y privadas.
- Confianza: fomentar la seguridad y respaldo para que tanto nuestros colaboradores, como clientes tengan la certeza del servicio brindado
- Trabajo en Equipo: con la contribución de todos los que intervienen en los diferentes procesos buscamos el logro de los objetivos organizacionales.
- Puntualidad: cumplimiento por los colaboradores con los tiempos establecidos, al igual que los compromisos adquiridos con nuestros clientes.

1.3. Compresores

El aire comprimido se obtiene a través de un compresor, siendo este una máquina que aspira aire de la atmósfera y lo comprime para transferirle una presión mayor. Para comprimir un gas se utilizan cuatro métodos, dos son de flujo intermitente y dos de flujo continuo. Debido a esto los compresores se clasifican según la forma de elevar la presión o comprimir el gas. Los cuales son: desplazamiento positivo o flujo intermitente y flujo continuo. A continuación se muestra la clasificación de los compresores en la siguiente figura.

Figura 1. Tipos de compresores



Fuente: Ingersoll-rand. *Manual del profesional del aire comprimido*. p. 1.

1.3.1. Compresores de flujo intermitente

También llamados compresores de desplazamiento positivo, son los compresores que elevan el gas a una presión mayor, confinando dentro de un espacio cerrado mediante volúmenes sucesivos de gas.

El proceso anterior se lleva a cabo de dos formas que son: atrapar cantidades consecutivas de gas en una cámara, reduciendo así su volumen para aumentar la presión, para luego empujar el gas fuera de la cámara para su aplicación; o por contraflujo del sistema de descarga, el cual se da mediante el traslado de cantidades sucesivas de gas sin cambio de volumen al descargar en un sistema de alta presión, empujando el gas finalmente fuera del recinto. A continuación, se describen los compresores comprendidos en este grupo.

- Compresores reciprocantes: la compresión se realiza mediante el movimiento de un pistón dentro de un cilindro. También llamados de émbolos.
- Compresores rotativos: se da mediante la acción de desplazamiento de elementos que están en rotación, los cuales depende de su construcción:
 - Compresores de paletas deslizantes: el gas es comprimido y desplazado, mediante paletas axiales que se deslizan radialmente en un rotor excéntrico montado en una carcasa cilíndrica.
 - Compresores de pistón líquido: utiliza agua u otro fluido para realizar la función de pistón, para comprimir y deslizar el aire.
 - Compresores de lóbulo recto: mediante dos impulsores rotativos de lóbulos rectos atrapan el gas y lo trasladan desde la admisión hasta la descarga, el aumento de presión se da por contraflujo.
 - Compresores de tornillo: también conocidos como lóbulos helicoidales, formado por dos rotores de forma helicoidal, los cuales comprimen y desplazan el gas o aire.

1.3.2. Compresores de flujo continuo

También llamado de flujo no positivo, y se dividen en dos grupos debido a la forma o método de compresión. Las cuales son: comprimir el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas de rápida rotación imprimiendo velocidad y presión; también se da utilizando un chorro de gas o vapor que arrastra el gas a comprimir para luego convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizado corriente abajo. A continuación, se describen brevemente.

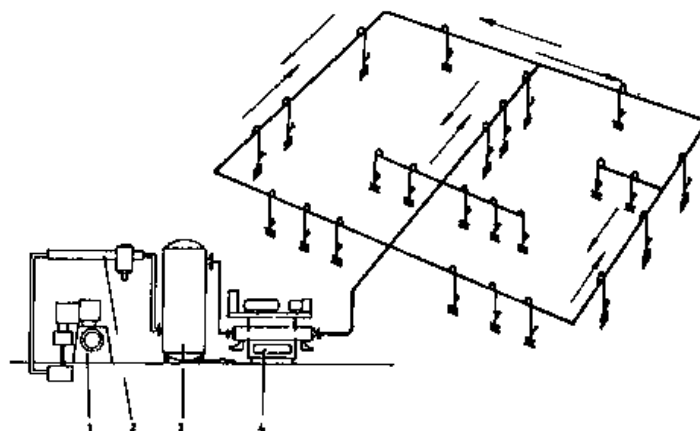
- Compresores dinámicos: son máquinas rotativas, que mediante uno o dos impulsores en rotación rápida aceleran el gas a través de este, la velocidad es convertida en presión, parcialmente en el elemento rotativo y parcialmente en los difusores estacionarios o paletas.
 - Compresores centrífugos: mediante uno o varios impulsores, se transmiten al gas energía cinética, la cual se convierte en presión mediante un difusor corriente abajo, el flujo se da de forma radial.
 - Compresores axiales: el gas se acelera y desacelera por medio de paletas móviles montados sobre un rotor y paletas fijas montadas sobre un estator. El cambio de *momentum* aumenta la presión.
 - Compresor de flujo mixto: son máquinas que cuentan con un impulsor que combina características de los compresores tipo centrífugo y radial.
- Eyectores: son aparatos que utilizan un chorro de gas o vapor a alta velocidad para empujar hacia el interior al que se quiere comprimir, mediante un difusor localizado corriente abajo convierte la velocidad de la mezcla en presión.

1.4. Elementos del sistema de aire comprimido

Una buena distribución del aire comprimido en las instalaciones neumáticas, puede llegar a disminuir costos, mediante un adecuado diseño, prevención de fugas, mejor tratamiento del aire comprimido, entre otros. Las empresas necesitan cada vez una mayor cantidad de aire. Por lo cual se necesitan elementos en la preparación, como en el suministro del mismo. Una instalación básica comprenderá los siguientes elementos:

- Compresor.
- Depósito acumulador del aire a presión - comprimido.
- Depósito auxiliar (en caso de instalaciones de gran consumo)
- Post enfriador.
- Unidad de mantenimiento (filtro, manómetro, regulador y lubricador).
- Red de tuberías y accesorios.

Figura 2. Componentes básicos de un sistema de aire comprimido



Diseño de la red indistintamente en circuito cerrado o circuito abierto.
1. Compresor. — 2. Refrigerador posterior. 3. Secador (adsorción, frigorífico, Air eadryer).
4. Calentador.

Fuente: Carnicer Royo. *Teoría y cálculo de instalación de aire comprimido*. p. 224.

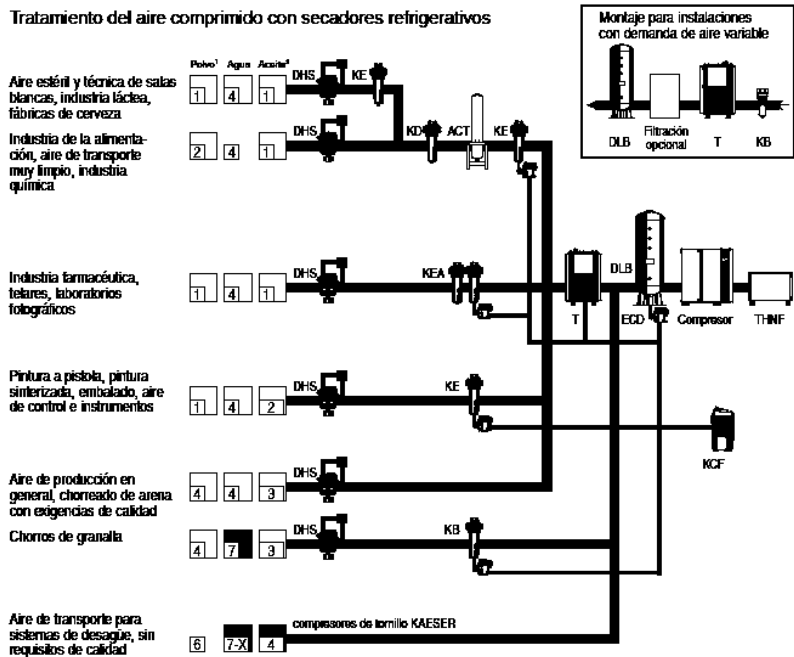
El uso de componentes para tratar el aire dependerá y se definirá según sea la necesidad de este. Por ejemplo: el sistema de aire comprimido en un hospital o industria alimenticia, se necesita que el aire suministrado, tenga una buena preparación para entregar aire de buena calidad libre de contaminantes; mientras, para una industria donde el proceso más importante es de pintura, se necesitarán menos elementos para suministrar un aire de buena calidad. Como se muestra a continuación en la figura 3.

Figura 3. Selección de tratamiento según las necesidades

Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades:

Ejemplos de uso: Grados de tratamiento según la ISO 8573-1 (2010)

Tratamiento del aire comprimido con secadores refrigerativos



Explicaciones	
ACT	Adsorbedor de carbón activo
KCF	Separador agua aceite
AT	Secador de adsorción
DHS	Sistema de mantenimiento de la presión
DLB	Depósito de aire comprimido
ECO-DRAIN	ECO-DRAIN
KA	Filtro de carbón activo, adsorción
KB	Filtro de coalescencia, Basic
KBE	Extra Combination
KD	Filtro de polvo, Dust
KE	Filtro de coalescencia, Extra
KEA	Carbon Combination
T	Secador frigorífico
THNF	Pre-filtro de aire de esterillas
KB	Filtro separador

Fuente: Kasser, Kasser. *diseño de red.* p. 7.

Todos los compresores funcionan como una aspiradora gigante, el cual aspira impurezas que se comprimen junto al aire, llegando a la red de aire comprimido. Para evitar esto se ajusta mediante los elementos a emplear, según sea la necesidad de calidad del aire a emplear.

Compresor: máquina que se encarga de desplazar y elevar la presión de un gas, un vapor. Al disminuir el volumen de aire atrapado eleva la presión, durante su paso a través del compresor o cambiando la velocidad del aire por presión, según sea el método de compresión.

Tanque de almacenamiento: también llamado depósito de aire, en él se almacena aire comprimido a presión, para luego ser distribuido a los diferentes consumidores. Posee válvulas de seguridad, manómetro, grifo de purgas, racor de toma del sistema de regulación del compresor. Los depósitos pueden ser horizontales o verticales y se debe de evitar las conexiones largas o distantes entre depósito y compresor. Las funciones del tanque son:

- Equilibrar las pulsaciones de aire procedentes del compresor.
- Acumular aire comprimido y suplir un exceso de demanda momentánea.
- Regular los periodos de carga-vacío o carga-parada.
- Refrigerar el aire, acumular el aceite y condensados.

Post enfriador: se coloca después del compresor, funciona como un intercambiador de calor que disminuye la temperatura del aire luego de ser comprimido, el cual consigue eliminar aproximadamente un 70 u 80 % del agua y aceite contenidos en el aire. Para obtener esto es necesario que la temperatura del aire comprimido este lo más cercano a la temperatura ambiente.

Secadores de aire: el aire libre aspirado por el compresor contiene humedad, para eliminar o disminuir la humedad del aire a suministrar, se debe de llevar la temperatura del aire hasta el punto de rocío. Se lleva a cabo mediante máquinas llamadas secadores, que son básicamente como frigoríficos.

Al pasar el aire por el secador, la temperatura de entrada puede ser de más de 70 °C y este se encarga de reducirla hasta 2 o 3 ° C y de esta manera se consigue condensar la humedad del aire, convirtiéndola en agua. Esta agua es recogida y se saca del sistema por medio de purgas automáticas o manuales.

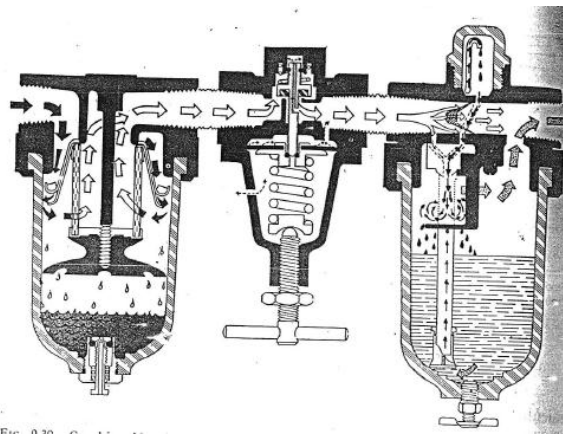
Este elemento es el más importante en el proceso de preparación del aire, el secador reduce la humedad del aire en más de 80 %, requiere un mínimo mantenimiento y prolonga la vida útil de las herramientas y equipo neumático. Es esencial donde el factor humedad es crítico. En este elemento hay una ligera caída en la presión de aproximadamente 5 Psig, los secadores se clasifican por el método que emplean para reducir la humedad los cuales son: secadores por refrigeración, sobre compresión, absorción y adsorción.

Unidades de mantenimiento: son ubicados en los puntos de distribución en su defecto en la entrada de las herramientas o máquinas neumáticas. Con la misión de suministrar aire óptimo que no acorte la vida útil y se tenga un buen rendimiento de los componentes neumáticos. Para ello se tiene incorpora al sistema en cada punto de servicio un filtro, regulador de presión y lubricador.

- Filtro de aire: elimina las impurezas del aire como polvo, condensados, aceites y partículas extrañas; permitiendo llevar aire limpio al regulador, lubricador y al equipo neumático. Existen tres tipos, los cuales son: filtro mecánico, filtro de rejilla y filtro de borde. Cada uno tiene diferente capacidad y funcionamiento para filtrar el aire.
- Regulador de presión: suministra una presión adecuada de trabajo, a su vez protege el equipo evitando bajo rendimiento en los momentos críticos del ciclo de trabajo. Las válvulas más utilizadas en este medio son: válvula de diafragma y de émbolo.

- Lubricador: reducen la fricción y el desgaste de válvulas; lo que permite prolongar la vida útil y eficiencia del equipo. Los lubricantes más utilizados son los derivados del petróleo pero están siendo reemplazados por lubricantes sintéticos.

Figura 4. **Unidad de mantenimiento F.R.L.**



Fuente: Carnicer Royo. *Teoría y cálculo de instalación de aire comprimido*. p. 168.

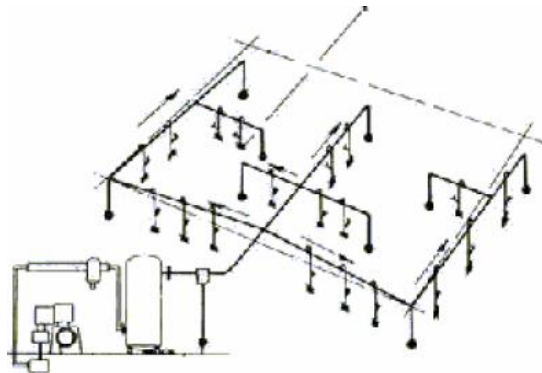
1.5. Tipos de distribución de red

Para determinar el diseño de la red, se determina: el consumo de aire, ubicación, estructura del edificio, grado de limpieza y secado del aire, entre otros. Se podrá establecer el diseño de la red, si ha de emplearse un circuito abierto o un circuito cerrado. Si después del compresor se tiene un secador de aire total, ya sea frigorífico o de absorción, la red puede ser diseñada de cualquier forma, debido a que este garantiza menor humedad en el aire. De lo contrario si solo se cuenta con un refrigerador posterior, que es lo más frecuente o común en la industria, se deberá de considerarse el diseño de red.

1.5.1. Red abierta

Se caracteriza porque tanto las líneas de servicio como las líneas secundarias se derivan de una sola línea principal (ver figura 5). La ventaja de este diseño se debe a la poca inversión inicial que lleva esta configuración. También permite implementar declives que permiten la evacuación de condensados. Su principal desventaja es cuando debe de realizarse operaciones de mantenimiento, pues ante una reparación u otro trabajo es posible que se detenga el suministro de aire lo que con lleva a detener la producción.

Figura 5. Configuración abierta y su inclinación



Fuente: Carnicer Royo. *Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones*.

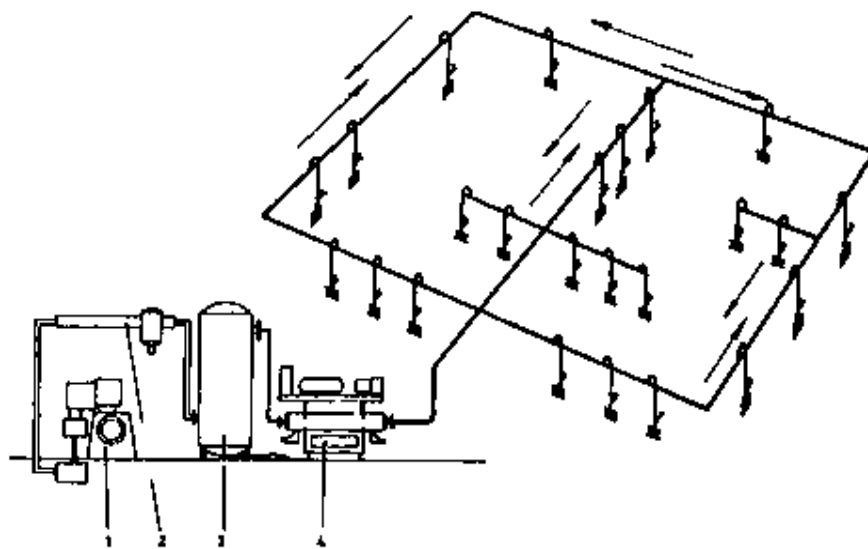
p. 225

1.5.2. Red o circuito cerrado

La configuración de este circuito permite que el mantenimiento se facilite, pues pueden aislarse ciertas partes sin que afecte significativamente la producción. Por esto mismo incrementa la inversión inicial ya que la red se constituye en un anillo como se muestra en la figura 6.

A demás se pierde el sentido del flujo por lo que evacuar los condensados se dificulta y el problema radica en que algún accesorio es diseñado con una entrada y una salida, es decir un sentido de flujo específico. Dejando inservible los accesorios.

Figura 6. **Circuito cerrado**

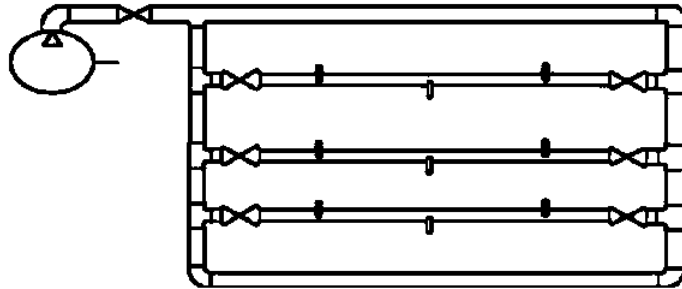


Fuente: Carnicer Royo. *Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones.*
p. 224.

1.5.3. **Red interconectada**

Esta configuración es idéntica al diseño de red de circuito cerrada pero con la implementación de *bypass* entre las líneas principales. Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento pero requiere la inversión inicial aún más alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada.

Figura 7. **Red interconectada.**



Fuente: MORALES Aarón Benjamín. Diseño de redes. p. 80.

1.6. **Trasporte o tuberías**

El aire comprimido acumulado una vez tratado, debe de ser conducido hacia a todos los lugares de trabajo o puntos de servicio, a través de una red de distribución, conocidas comúnmente como tuberías. Se consideran tres tipos de tuberías:

- Tubería principal, también llamada tubería madre.
- Tuberías secundarias.
- Tuberías de servicio.

1.6.1. **Tubería principal**

Se llama así a la tubería que transporta el aire del depósito o acumulador, y conduce la totalidad del caudal de aire. Debe de considerarse la sección o el diámetro mayor posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones en la red de distribución, por consiguiente un aumento de caudal.

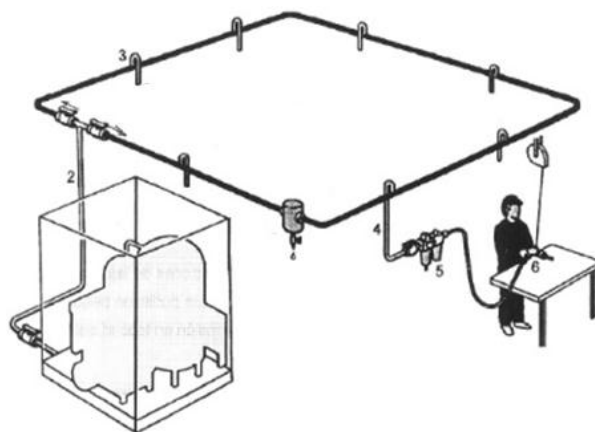
1.6.2. Tuberías secundarias

Son las ramificaciones que se derivan de la tubería principal, hacia todas las áreas de trabajo de las cuales se derivan los puntos de servicio. El caudal que suministren será la suma de los caudales parciales que se deriven o todos los puntos de servicio que salga de ella. Debe de considerarse igualmente el diámetro mayor posible por futuras ampliaciones al calcular su diámetro.

1.6.3. Tuberías de servicio

Son las que alimentan o proveen el aire comprimido a los equipos neumáticos. Cuentan con acoples rápidos y las mangueras de aire, así como la unidad de mantenimiento. Con el fin de evitar obstrucciones se recomiendan diámetros mayores a $\frac{1}{2}$ " , pudiéndose colocar hasta un máximo de tres acoples rápidos en cada una de ellas.

Figura 8. Tipos de tubería en una red de distribución



Fuente: Tipos de tubería de una red de distribución.

<https://es.slideshare.net/gatika70/neumatica-6979761>. Consulta octubre 2017.

1.6.4. Clases de tubería

Las tuberías son conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor, hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirígidas y flexibles.

1.6.4.1. Tuberías rígidas

Son empleadas para instalaciones permanentes, es decir, que no estarán sometidas algún tipo de movimiento relativo. Adecuadas para altas presiones y su fabricación es de base metálica. Entre las tuberías rígidas más utilizadas se encuentran:

Las tuberías de acero de peso normalizado, útil cuando se requieren de grandes diámetros (mayores de 4 pulgadas). Las tuberías de cobre, normalmente son utilizados para diámetros reducidos, y expuestos ambientes poco corrosivos. Se debe de tener presente a su alta fragilidad en presencia de vibraciones, elevado costo y limitaciones de accesorios. Cuando se elija e instale es tipo de material.

1.6.4.2. Tuberías semirígidas

Cuenta con cierta maleabilidad, la cual es útil al momento de su instalación y mantenimiento. Fabricadas en su mayoría de materiales termoplásticos como el PVC y el polietileno. Tienen capacidad de trasportar aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños. Aunque pueden no ser compatible con aceites utilizados en los compresores.

1.6.4.3. Tuberías flexibles

También llamadas mangueras, estas pueden soportar: deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones. Dependiendo del material de fabricación, además, están constituidas por un forro interior liso, resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y de un forro externo flexible que les proporciona resistencia a los solventes y la abrasión.

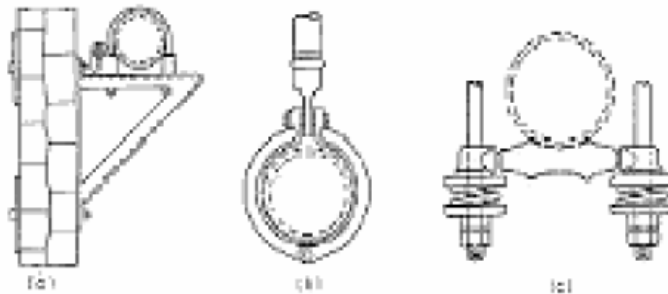
Los materiales más empleados para su fabricación son: Nylon, PVC flexible, caucho y lona. La resistencia de las mangueras está relacionada directamente con el espesor de pared y la clase de material utilizado en su fabricación.

1.6.5. Soporte de tubería

Las tuberías deben de tener soporte entre los puntos que conectan. Cuando no hay problema de dilatación en montaje es sencillo, porque se pueden utilizar soportes de abrazaderas, varillas y un tensor de ajuste. Un soporte adecuado debe tener una base resistente y rígida, apoyada adecuadamente y un dispositivo regulable de rodillos (si existe dilatación) que mantengan la alineación en cualquier dirección.

Cuando existe dilatación en la tubería, una solución es colocar un soporte formado de perfiles de acero y pernos en forma de “U”, los cuales fijan la tubería sobre el soporte como se representa en la figura 9. Cuando la tubería es soportada por debajo, para no dificultar la dilatación los soportes están provisto por rodillos.

Figura 9. **Soporte para tuberías**



Fuente: EUGENE Avallone y BAUMEISTER Theodore III. *Manual del Ingeniero Mecánico*.
p. 8-239.

Los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección. El peso de la tubería no debe cargarse a los cuerpos de válvulas. Al establecer la localización de los soportes de los tubos, debe de guiarse por dos condiciones: la luz o claro horizontal no debe ser tan larga que la flecha del tubo imponga un esfuerzo excesivo en la pared del mismo; la inclinación de la tubería en sentido descendente para drenar o expulsar el agua condensada.

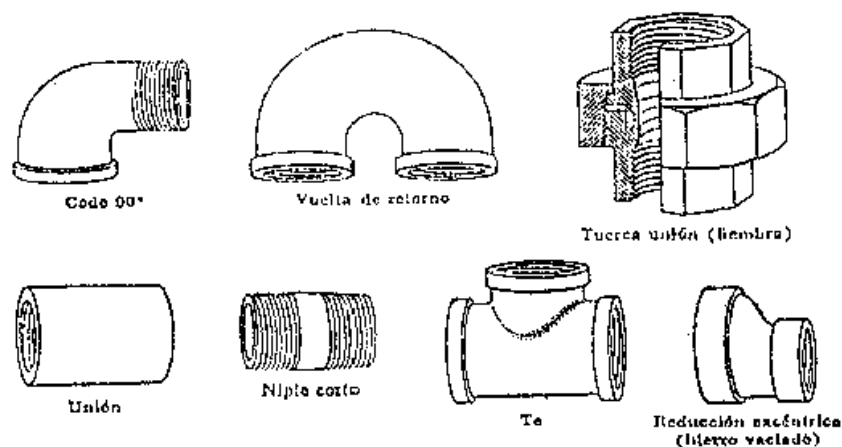
1.7. **Accesorios de tubería**

Para llevar a cabo la instalación de una red de distribución de aire, es indispensable la utilización de accesorios. Son útiles para adaptar la tubería a la forma del edificio y para cumplir las necesidades de las máquinas. Entre los accesorios más usados son:

- Niples y uniones: accesorios que actúan de enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple posee rosca doble macho.
- Adaptadores: son elementos de uniones que sirven para unir tuberías de diferente rosca.

- Reducciones: son elementos de unión que acoplan tuberías de diferentes diámetros,
- Codos: cambia la dirección del flujo a 30, 45, 60 ó 90 °C. Estos pueden ser codos iguales cuando no hay variación de diámetro en sus extremos o desiguales cuando sí lo hay.
- Tees: elemento que acopla tres tuberías. Siendo el diámetro de dichas tuberías iguales o desiguales según sea la necesidad.
- Cruces: elementos de conexión, y se utilizan para conectar cuatro tuberías en un mismo plano, se utilizan para hacer derivaciones de una línea. Pueden poseer diámetros iguales o desiguales en sus extremos.
- Tapones: impiden el paso del flujo en una dirección no desea. Se denominan así cuando poseen rosca hembra y tapas cuando tiene roca macho.
- Acoples rápidos: sirven para conectar fácil y velozmente herramientas o equipos neumáticos en la red. Son necesarios cuando se tienen diversas máquinas o dispositivos en un mismo punto de conexión.

Figura 10. **Accesorios de tuberías**



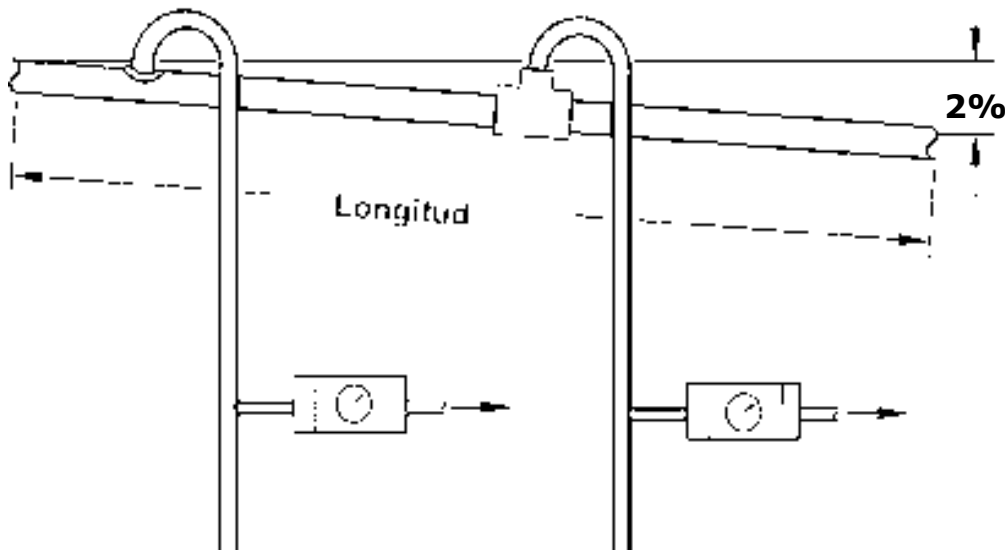
Fuente: Ing. ÁVILA PINZON Álvaro Antonio. *Folleto instalaciones mecánicas*. p. 6.

1.8. Fundamentos teóricos para diseño de red

La instalación de un sistema de tuberías de aire debería llevarse a cabo de acuerdo con determinadas directrices. A continuación se darán diversas recomendaciones que deberán observarse para obtener la seguridad, la fiabilidad y el rendimiento esperados de un sistema de tubos de aire.

La red debe tener cierta pendiente a favor del sentido del flujo para que la humedad condensada sea dirigida hacia los purgadores, por la acción de la gravedad y por el sentido del caudal. Esta pendiente debe ser aproximadamente de 1 pie por cada 40 pies de largo o ser de un 2 % como se ilustra en la figura 8. Al final debe instalarse una válvula de purga.

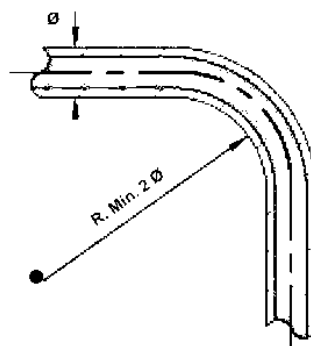
Figura 11. Pendiente de instalación para tubería



Fuente: MORALES Aarón Benjamín. *Diseño de redes*. p. 82.

Las curvas deben ser hechas con el mayor radio posible, a fin de evitar las pérdidas excesivas por las turbulencias. Evitar siempre que se pueda la colocación de codos de 90 grados. La curvatura debe poseer un radio interior mínimo de dos veces el diámetro externo del tubo.

Figura 12. **Curva de radio largo**



Fuente: MORALES Aarón Benjamín. *Diseño de redes*. p. 80.

Cuando se instalen acoplamientos T, oriente la parte recta de la T hacia el flujo principal del aire, y la parte perpendicular para alimentar *bypass*, salidas de aire, entre otros. Los purgadores deben colocarse en los puntos más bajos de las pendientes y no debiendo de exceder una longitud de 100 pies entre ellos; evitando una acumulación excesiva de condensado, que podría afectar a las herramientas y equipos neumáticos si llega a ellos.

Los reguladores de presión deben estar ubicados en los ramales de distribución o cerca del punto de uso, para evitar pérdidas innecesarias que puedan afectar el rendimiento de las herramientas o equipos.

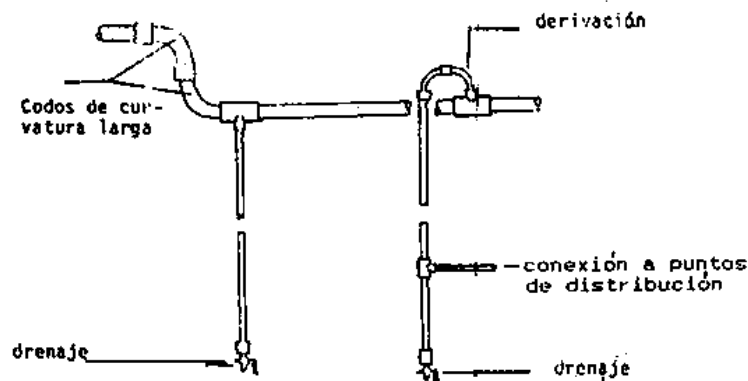
1.8.1. Instalación de puntos de servicios

Las líneas derivadas o distribución, deben de derivarse de la parte superior de la tubería. Para evitar que el condensado de la tubería de distribución se ha llevado al punto de servicio. Dicha conducción debe de cambiar su sentido en 180 grados, con una curva de radio largo si es posible. Además cada línea debe de tener una columna de condensados y un purgador.

1.8.2. Instalación de drenajes de condensados

A diferencia de las líneas de servicio o puntos de distribución, las cuales deben de derivarse de la parte superior de la tubería. Las líneas de drenajes de condensados deben de partir de la parte inferior de la tubería, es decir, por debajo de está. Con la finalidad de extraer la mayor cantidad de condensados posibles de las tuberías.

Figura 13. Instalación de puntos de distribución y drenajes de condensados



Fuente: Ing. ÁVILA PINZON Álvaro Antonio. *Folleto instalaciones mecánicas. Tuberías neumáticas.* p. 13.

1.9. Longitud de tubería

Para el diseño de una red, las conducciones o tuberías deben ser lo más cortas y rectas posibles, es decir, tener el mínimo de curvas cerradas o accesorios, para evitar que se incremente la pérdida de presión. La pérdida de presión se debe a la resistencia del flujo a través de un conducto, el cual se incrementa por el uso de accesorios, afectando así la capacidad de conducción.

Para expresar la resistencia a la conducción causada por los accesorios, estos deben de expresarse en longitudes equivalentes de tubo recto por medio de operaciones matemáticas o mediante el uso de tablas. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería y la suma es llamada longitud equivalente de la tubería.

1.9.1. Longitud equivalente

Las resistencias que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro. Para determinar la longitud de la tubería debido a la existencia de accesorios se pueden utilizar dos métodos:

- Se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto, son variables estas según sea, el diámetro de los accesorios. Para ello se utiliza la tabla I, la cual muestra longitud de tubo recto en pies.

Tabla I. **Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería**

Accesorios	Tamaño nominal de tubería en pulgadas						
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2	2 1/2"
Codo	1.55	2.06	2.62	3.45	4.02	5.17	6.16
Válvula de compuerta	0.36	0.48	0.61	0.81	0.94	1.21	1.4
Válvula de ángulo	6.65	11.4	14.6	19.1	22.4	28.7	34.3
Válvula de globo	17.3	22.9	29.1	38.3	44.7	57.4	66.5
Tee	0.62	0.82	1.05	1.38	1.61	2.07	2.47
Reducción	0.066	0.132	0.165	0.198	0.231	0.33	0.66
Cuello de cisne	0.627	0.66	0.825	1.07	1.32	1.65	
Filtro separador	0.66	0.99	1.32	1.65	1.96	2.31	3.3

Fuente: Ing. ÁVILA PINZON Álvaro Antonio. *Folleto instalaciones mecánicas. Tuberías neumáticas*. p. 8.

- Se relacionan los accesorios con la resistencia que ocasionaría un codo de 90; hallando así un número determinado de codos equivalentes, y estos, a su vez, se convierten en una longitud recta utilizando la siguiente fórmula y la tabla I:

$$Le = \text{Número de codos equivalentes} * \frac{(25 * \text{diámetro del tubo})}{12} \quad (\mathbf{f.1})$$

Debidos a los accesorios

Tabla II. **Valor de accesorios en codos equivalentes**

Nombre de la parte	Codos equivalentes	
	Tubo de hierro	Tubo de cobre
Válvula de ángulo radiador	2.0	3.0
Válvula de globo abierta	12.0	17.0
Válvula de compuerta abierta	0.5	0.7
Te con desviación del 100 %	1.8	1.2
Te con desviación del 50 %	4.0	4.0
Te con desviación del 33 %	9.0	11.0
Te con desviación del 25 %	16.0	20.0
Codo de 90	1.0	1.0
Codo de 90 con curva grande	0.5	0.5
Codo de 45	0.7	0.7
Retorno (U) abierto	1.0	1.0
Unión de reducción	0.4	0.4

Fuente: Ing. ÁVILA PINZON Álvaro Antonio. *Folleto instalaciones mecánicas. Tuberías neumáticas*. p. 9.

Una vez obtenida la longitud de los accesorios expresados en longitudes rectas de tuberías, estas son sumadas a longitud real de tubería recta. Según se muestra en la siguiente ecuación. Determinando así la longitud equivalente de toda la red de distribución de aire comprimido.

$$\text{Longitud equivalente} = L. \text{ de tubería} + L. \text{ por accesorios. (f. 2)}$$

1.10. Pérdidas por fricción en la tubería

Un fluido al ser transportado sufre pérdidas de presión, ocasionado por la longitud de la tubería. El factor de fricción (F) es un parámetro adimensional que se utiliza para calcular la pérdida por fricción en la tubería.

Tabla III. **Tabla Factores (f) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial**

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	30.4	8.7	2	0.9				
30	456	70.4	19.6	4.5	2				
40	811	125.3	34.8	8.1	3.6				
50		196	54.4	12.6	5.6	1.5			
60		282	78.3	18.2	8	2.2			
70		385	106.6	24.7	10.9	2.9	1.1		
80		503	139.2	32.3	14.3	3.8	1.5		
90		646	176.2	40.9	18.1	4.8	1.9		
100		785	217.4	50.5	22.3	6	2.3		
150			490	113.6	50.3	13.4	5.2	1.6	
200			870	202	89.4	23.9	9.3	2.9	
300				454	201	53.7	20.9	6.6	
400						94.7	37.1	11.7	2.7
500						150	58	18.3	4.3
600						215	83.5	26.3	6.2
700						294	113.7	35.8	8.5
800						382	148.4	46.7	11.1
900						486	188	59.1	14
1000						600	232	73	17.3

Fuente: ÁVILA PINZON Álvaro Antonio. *Folleto instalaciones mecánicas*. p. 12.

1.11. Cálculo de diámetro teórico de tubería

La dimensión del diámetro en una tubería es de suma importancia, debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando se transporta en ella están directamente relacionadas con su diámetro. Por ello es importante calcular un diámetro óptimo, el cual posea la capacidad de transportar un caudal determinado; estas pérdidas oscilan entre un 3 % a un 6 % de la presión nominal. Para determinar el diámetro óptimo en una instalación neumática se deben seguir los siguientes pasos:

- Calcular el consumo de aire del equipo, el cual es el resultado de la suma de los consumos individuales de todos los equipos y máquinas neumáticas que se desean instalar.
- Determinar el caudal (Q) requerido por la instalación; el cual es el resultado de la suma del consumo de aire del equipo más un 5 % por desgaste más 10 % por más fugas más un 20 % ó 30 % por futuras ampliaciones según proyecciones de la empresa para agregar equipos.

$$Q T = Q + Q * 0,05 + Q * 0,10 + Q * 0,30 \text{ (f. 3)}$$

- Calcular la presión de la instalación, la cual viene dada por la presión máxima requerida para el accionamiento del equipo neumático. Esta operación se detalla en el siguiente inciso.
- Establecer la pérdida de presión admisible, la cual es la pérdida basada en la variación de presión que puede sufrir la instalación sin repercutir en el funcionamiento del equipo neumático.

- Determinar la longitud equivalente:

$$\text{Longitud equivalente} = L. \text{ de tubería} + L. \text{ por accesorios. (f. 4)}$$

Para determinar la longitud debida a los accesorios se deben de tomar un diámetro arbitrario, debido a que esta longitud varía según sea el diámetro de la tubería. La longitud equivalente se dará en pies (ft).

- Calcular la pérdida de presión en la tubería:

$$P = \frac{(\text{Factor de pérdidas}(F) * \text{Long. Equivalente})}{(\text{Factor de tubería}(R) * 1\,000) \text{ (lb/plg}^2\text{)}} \text{ (f. 5)}$$

El factor de pérdida (F) se determina mediante la tabla III, utilizando para ello el diámetro de la tubería en pulgadas y el caudal de aire requerido por la instalación en Pies³/min. (CFM).

$$\text{Factor de pérdida (R)} = \frac{(\text{P. Instalaciones} + \text{P. Manométrica})}{(\text{P. Manométrica})} \text{ (f. 6)}$$

- Cuantificar la pérdida de presión en porcentaje

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}} \text{ (f. 7)}$$

- Se compara la pérdida admisible de presión con la pérdida de presión en la tubería; si esta última es mayor se debe aumentar el diámetro de la tubería.

El diámetro óptimo de la tubería neumática se determina por tanteos al variar el diámetro dentro de la tubería y corroborar que la pérdida de presión en la tubería sea igual o menor que la pérdida de presión admisible. (3 % a 6 %).

1.12. Cálculo de presión teórica

Se distinguen dos conceptos: la presión de servicio es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores. La presión de trabajo es la necesaria en el puesto de trabajo considerado. Por eso los datos de servicio de los elementos se refieren a esta presión.

Para calcular la demanda de presión se debe de sumar la presión prescrita a la herramienta, la caída de presión que se presentará en la línea y los accesorios, obteniendo así la presión al inicio de la línea principal.

$$P2 = P1 + P \text{ (f.7)}$$

P2 = presión demandada en Psi.

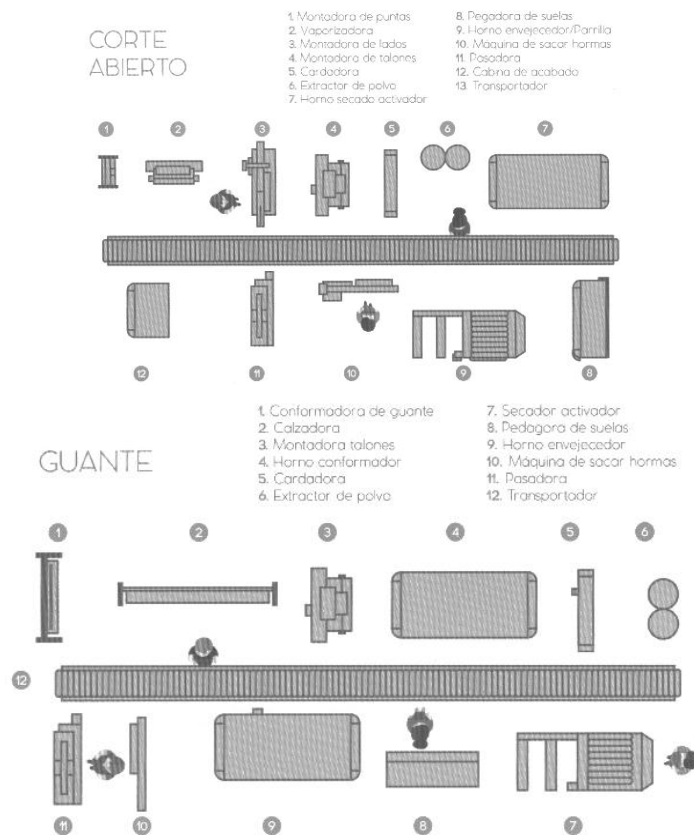
P1 = presión de la herramienta en Psi. (La mayor).

P = caída de presión admisible en la línea en Psi. (3 al 6 %).

1.13. Maquinaria para fabricación de calzado

Para la fabricación de calzado se emplean diversas máquinas, para llevar a cabo dicha tarea. A continuación, se hará una breve descripción de toda la maquinaria neumática empleada, siendo esta la mayor fuente de energía usada por las máquinas, para la elaboración de sandalias y zapatos. Esos dependen del tipo de corte a montar. En la figura 14 se muestran las dos típicas línea de producción de calzado, con maquinaria estándar.

Figura 14. Maquinarias estándar en línea de producción de calzado



Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 2.

1.13.1. Foliadora

Esta máquina tiene como función grabar sobre un material determinado un número, código numérico o alfanumérico, a fin de identificar un producto. La información que usualmente se marca es el número de orden de producción, el código del estilo y la talla, dicha información es de utilidad a lo largo de las operaciones del proceso e incluso al consumidor final.

1.13.2. Remachadora

También conocidas como máquina para ojeteros o timbradoras. Las remachadoras neumáticas son útiles para acoplar o unir dos piezas, con un solo remache. Implica una presión fuerte para que ambas piezas queden acopladas. Si en todo caso se desean unir piezas por ambos lados, se realiza un remache macizo. Pero si la pieza se unirá a un lado sólido, se le llama remache ciego. Esta máquina se emplea para poner remaches en los ojeteros de los zapatos que utilizan cinta o bien para decoración, según sea el estilo.

Figura 15. **Remachador neumático**



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.3. Máquina de puntera termo plástica

Es una prensa neumática utilizada para aplicar punteras termoplásticas a los cortes de calzados. Mediante acción de presión y temperatura, los cuales son regulables según las características de los materiales, tanto de la punta como del adhesivo empleado. El objetivo es mantener la forma de la horma en el zapato en el área de la punta.

Figura 16. Máquina de puntera termoplástica



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.4. Premoldeador de talón

También llamada conformadora de talones, consta de dos moldes de aluminio, con forma de talones. Un molde posee una resistencia interna, con el objetivo de activar las resinas del material termoplástico para pegar una cara con el forro y la otra con la piel. El otro molde posee un sistema de refrigeración, el cual cristaliza el material del corte, obteniendo así la forma deseada. Sobre cada molde se encuentra una almohadilla la cual presiona, el corte colocado para obtener la forma deseada del talón para el zapato.

Figura 17. **Premoldeador de talón**



Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 4.

1.13.5. Premoldeador de puntas

Consta de dos moldes de caucho, para principiar a dar forma a la punta. Tiene el objetivo de activar las resinas del material termoplástico para pegar una cara con el forro y la otra con la piel. Mediante temperatura, tiempo y presión, según las características de los materiales empleados tanto como para la punta como el adhesivo utilizado.

Figura 18. **Premoldeador de puntas**



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.6. Vaporizador de puntas

Es una máquina tipo prensa, usada antes de realizar el montado. En la parte inferior cuenta con un molde el cual mediante una resistencia eléctrica interna reactiva la puntera termoplástica para su maniobrabilidad. Y en la parte superior se vaporiza agua para humectar la piel para obtener mayor elasticidad y evitar que se rasgue, al momento de montarse en la horma.

Figura 19. **Vaporizador de puntas**



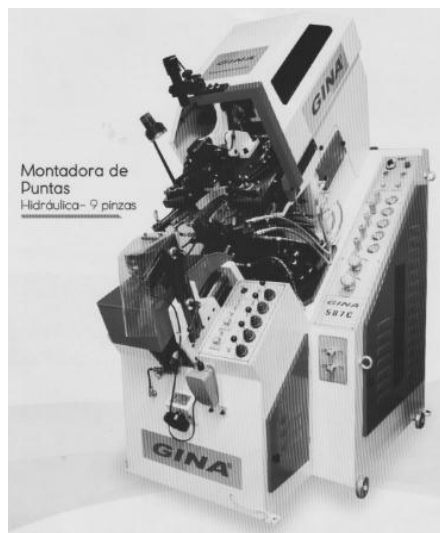
Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 4.

1.13.7. Montadora de puntas

Es en esta máquina donde empieza a tomar forma de zapato, al colocar corte sobre la horma. Es quizá la máquina más compleja que se utiliza en la fabricación de calzado y de mayor criticidad en el proceso de fabricación. Debido a que realizar el proceso a mano es laborioso. Además, es la de mayor consumo de aire comprimido.

En la parte central de la máquina, hay un soporte en que se sitúa la horma y el corte, apoyando la punta en una guía llamado teflón, siendo este distinto para cada tipo de horma; alrededor del soporte hay una serie de pinzas neumáticas que sujetan y estiran el corte sobre la horma; cuando el corte está perfectamente centrado, se acciona el disparador de la máquina y por debajo del teflón aparecen unas placas que cierran la punta, dejando el corte pegado a la horma.

Figura 20. **Montadora de puntas**



Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 5.

1.13.8. Montadora de lados

La máquina de montar lados es la de menor complejidad para el proceso de montaje del calzado, consta de dos rodillos que doblan las laterales de la piel y lo asientan sobre la planta de la horma, mediante un tornillo sin fin especial que no daña ni rasga el material de la capellada.

1.13.9. Horno secador

Todo aquel dispositivo capaz de secar es llamado como horno secador. Posee unas resistencias en su interior y las cuales hacen que el cuero sufra un envejecimiento prematuro y un planchado uniforme, consiguiendo un relajamiento de sus fibras. Dicho horno tiene una banda transportadora que atraviesa su cuerpo central, los zapatos son depositados luego del montado de talones y son recogidos en la salida del horno de conformar para su posterior cardado.

Figura 21. **Horno secador**



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.10. Estabilizador frío

Este túnel se utiliza en el enfriado y estabilizado de los zapatos aun en horma, está equipado con una cinta transportadora que conduce los zapatos a través del túnel para su tratamiento pudiendo ser regulados tiempo y temperatura.

La finalidad de esta máquina es cristalizar el pegamento con el objetivo de acelerar el proceso para asegurar que la suela no pueda despegarse al momento de extraer la horma del zapato, debido a que la horma es extraída pocos minutos del pagado de la suela. De lo contrario habría problemas de despegue puesto que el pegamento estaría aún fresco.

Figura 22. **Estabilizador frío**



Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 6.

1.13.11. Prensa de bolsa

Esta máquina se encarga de adherir la suela al zapato, en la parte superior posee dos cavidades las cuales son cubiertas mediante una compuerta giratoria. Dentro de cada una de estas cavidades se encuentran situada una bolsa de hule, las cuales se cargan con aire comprimido para ejercer presión por unos segundos al zapato para pegar la suela, el ciclo inicia cuando se cierra la compuerta la cual presiona una válvula de rodillo normalmente abierta.

Figura 23. **Prensa de bolsa**



Fuente: Gina S.A. *Catálogo de maquinaria Gina*. p. 6.

1.13.12. **Moldeadora de cuello**

Algunos estilos de zapatos necesitan que las partes de laterales tenga una forma más cerrada, especialmente en el calzado de dama. Mediante el prensado de pinzas con almohadillas estas ajustan los laterales del zapato a la forma de la horma. Este proceso no se da dentro de línea de producción, debido a que no es muy recurrente su uso.

Figura 24. **Moldeadora de cuellos**

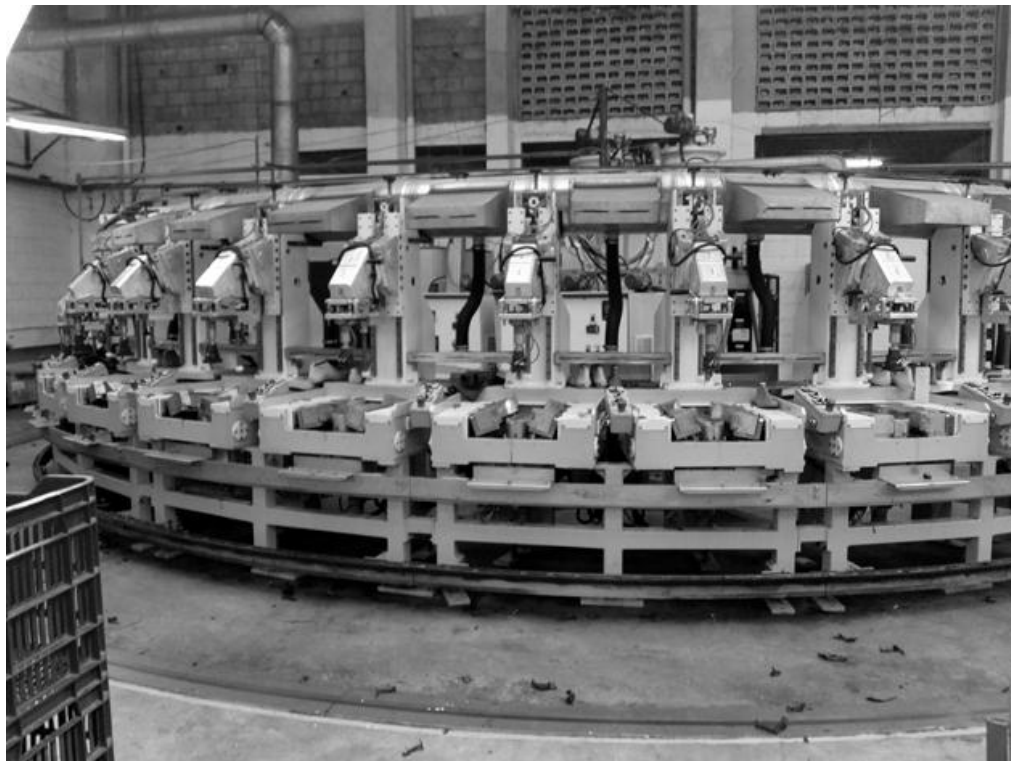


Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.13. Inyectora de suelas

Los zapatos montados en hormas son colocados en moldes en los cuales se inyectan poliuretano. El inyector es alimentado con material termoplástico en forma granular. Este es calentado a temperaturas elevadas por medio de resistencias eléctricas. Luego es inyectado en el molde mediante una bomba de tornillo. De este molde sale el producto terminado, en este caso, el zapato con suela. Tiene capacidad para 5 pares.

Figura 25. *Atta injection*, inyectora de suelas



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.14. Preconformadora de Corte

Utilizado para fabricación de calzo de guante, el cual significa que el corte está en su mayoría armado solo para adherir la suela o que sea por medio de inyección de suela. Este tipo de zapato no necesita de los premoldeadores mencionados anteriormente o algún tipo de máquina de montar. Solo dar forma mediante molde de aluminio el cual contiene una resistencia interna para dar calor y así moldear el zapato. Su grado de utilidad es menor debido a lo específico del calzado a fabricar.

Figura 26. **Preconformadora de corte**



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

1.13.15. Flama

Esta máquina es utilizada para corregir errores y mantener la calidad en la medida de lo posible en todos los zapatos fabricados. Básicamente cuenta con una tobera de la cual expulsa aire caliente, para corregir o quitar arrugas producidas en las máquinas premoldeadoras o montadoras de corte.

Figura 27. Flama



Fuente: Euro Calzado, S.A. Planta de producción.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Diagnóstico situacional

Para la producción de calzado, se emplean máquinas neumáticas. El aire comprimido es suministrado por un compresor marca Quincy Quality. No se tiene información o manuales técnicos provistos por el fabricante u otra fuente confiable de los compresores instalados, tampoco registro de mantenimientos proporcionados, servicios realizados, conocimiento del consumo y producción actual de aire comprimido. El sistema de distribución de aire comprimido se realiza mediante tubería galvanizada y flexible, no cuenta con una estructura definida, puesto tiene variables de diámetro a lo largo de su longitud y accesorios de tubería innecesarios.

Para cada punto de servicio, no cuenta con la derivación apropiada de la tubería principal o algún punto para expulsar condensados de la tubería. Por medio de una alianza con una empresa vecina, esta presta servicios de aire para la planta y así cubrir o suministrar el caudal de aire comprimido requerido en caso de alguna falla del compresor.

2.2. Diagnóstico de demanda de aire comprimido

El consumo de aire comprimido es un dato del cual no se tiene registro en la empresa. Para determinar la demanda de aire comprimido, requerido por las máquinas y herramientas de las líneas de producción, se realizó de tres maneras.

La primera, mediante uso de datos de placa de la máquina, información del fabricante en manuales y tablas de referencias. Para las máquinas de las cuales no obtuvo información, de la manera anterior, se realizó mediante cálculos realizados en un software con licencia libre proporcionado por Festo en su página web. El cual usa información específica de los cilindros para determinar el consumo de aire. A continuación se describe el software utilizado.

- Software: consumo de aire de los cilindros.
- Fabricante: Festo AG & Co. KG.
- Versión: 1,1 *Spanish Online*.
- Licencia: gratuita.
- Descripción: cuantificar rápida y cómodamente el consumo de aire de su instalación. Dimensionado fácil de todos los actuadores y tubos flexibles. Ajustes de los tiempos de ciclo y la presión de trabajo. De esta manera se calcula el consumo de aire por minuto y por día. La tabla de los datos de introducción con todos los resultados puede exportarse directamente a Excel.
- Enlace: https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/xDKI.asp

Para cuatro máquinas de las cuales no se obtuvo ningún tipo de información y no era posible determinar debido a su complejidad y accesibilidad, se realizó mediante equipo de medición de caudal marca Festo. Este servicio se solicitó de una empresa externa.

2.2.1. Modelo de ficha técnica para máquinas

A continuación se presenta un modelo de ficha técnica para máquinas neumáticas y herramientas neumáticas, la cuales fueron útiles para la recolección de información y establecer un punto de partida para tener un mejor control. A continuación se muestra un ejemplo de ficha técnica para máquinas y un ejemplo de una ficha técnica para herramientas neumáticas.

Tabla IV. Modelo de ficha técnica para maquina neumática

Maquinaria neumática			
Equipo	Marca	Consumo CFM	Presión Psi
Moldeadora de puntas	Recker	3,08	100
observaciones:			

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Modelo de ficha técnica para maquina neumática

Herramienta neumática			
Equipo	Marca	Consumo CFM	Presión Psi
Pistola para pintar	Truper	4,00	4
observaciones:			

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Caudal de consumo por máquinas

A continuación se muestra el consumo o demanda de aire comprimido por máquina, en pies cúbicos por minuto (CFM). Las máquinas y herramientas están clasificadas según áreas de trabajo.

Tabla VI. Consumo de aire comprimido, montado 1 y 2

Núm	Máquinas	cantidad de máquinas	Consumo unitario CFM	Consumo total CFM
1	Premoldeadora de talón	1	9,34	9,34
2	Montador a de puntas	1	16,42	16,42
3	Horno CCM-220	1	0,38	0,38
4	Cámara fría	1	0,39	0,39
5	Flama	1	2,00	2,00
6	Reactivador	1	0,39	0,39
7	Premoldeadora de cuello	1	4,00	4,00
8	Prensa de dos bolsas	2	6,00	12,00
9	Prensa de membrana	1	3,00	3,00
10	Engrapadora	1	3,01	3,01
11	Pistola para pintar	2	4,00	8,00
	Totales	13	48,93	58,93

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Consumo de aire comprimido, montado 3

Núm	Máquinas	Cantidad de máquinas	Consumo unitario CFM	Consumo total CFM
1	Reactivador	1	0,20	0,20
2	Premoldeador de corte 1	1	0,16	0,16
3	Premoldeador de corte 2	1	0,25	0,25
4	Horno caliente	1	0,38	0,38
5	Estabilizador frío	1	0,39	0,39
6	Montadora de lados	1	0,08	0,08
7	Vaporizador de puntas	1	0,20	0,20
8	Premoldeador de talón	1	9,34	9,34
9	Prensa de bolsa	2	6,00	12,00
11	Inyectora de suelas	1	12,36	12,36
12	Pistola para pintar	2	4,00	8,00
13	Engrapadora	1	3,01	3,01
14	Dremmel	1	4,00	4,00
15	Flama	1	2,00	2,00
16	Pistola de limpieza	1	1,50	1,50
	Total	18	48,54	53,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Consumo de aire comprimido, corte y costura

Núm	Máquinas	Cantidad máquinas	Consumo unitario CFM	Consumo total CFM
1	Premoldeadora de puntas	1	3,08	3,08
2	Punteras	1	0,44	0,44
3	Foliadora	1	0,20	0,20
4	Remachadora	1	0,39	0,39
5	Pistola para pintar	5	4,00	20,00
10	Pistola de limpieza	1	1,50	1,50
	Total	10	9,61	25,61

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Demanda de presión

A continuación se muestra la presión de trabajo de aire comprimido utilizado por máquina. Los datos recolectados se muestran en unidades de presión en Psi. Las máquinas y herramientas son los utilizados en toda la planta de producción.

Tabla IX. presión de trabajo de equipo neumático

Núm	Maquinaria	cantidad de máquinas	Presión (Psi)
1	Premoldeadora de talón	2	80
2	Montador a de puntas	1	100
3	Horno caliente	2	80
4	Estabilizador frío	2	90
5	Flama	2	60
6	Reactivador	2	80
7	Moldeadora de cuello	2	80
8	Prensa de dos bolsas	4	80
9	Prensa de membrana	1	80
11	Pistola para pintar	9	45
12	Premoldeador de corte	2	75
13	Montadora de lados	1	100
14	Vaporizador de puntas	1	40
15	Inyectora de suela	1	100
16	Engrapadora	2	60
17	Dremmel neumático	1	80
18	Pistola de limpieza	2	80
19	Premoldeadora de puntas	1	100
20	Puntera termo plástica	1	100
21	Foliadora	1	80
22	Remachadora	1	90
	Total	41	

Fuente: elaboración propia.

La presión promedio obtenido, es la suma de presión de trabajo de cada máquina, dividido el número de máquinas (41), el cual es equivalente a 75,06 Psi. Y la presión máxima de trabajo útil es de 110 Psi. El cual fue determinado, comparando el valor más alto de presión de trabajo de la tabla anterior.

2.3. Cálculo de eficiencia del sistema actual

Como se ha mencionado anteriormente si las pérdidas por fricción en el sistema superan el 3 % el sistema no es eficiente para transporte del aire comprimido.

A continuación se investigará la calidad en el transporte del aire comprimido y le porcentaje de pérdida por fricción, mediante cálculos matemáticos vistos en el capítulo anterior, no se dará mayor detalle de la utilización de estas ecuaciones ya que más adelante se tocará este tema a fondo. Se utilizará como factor R de pérdidas 8,21.

- Tubería de servicio.
 - Diámetro tubería: ½”.
 - Caudal: 10 CFM
 - Factor F de pérdida secundaria: 50,7
 - Longitud de tubería secundaria: 8,2
 - Longitud equivalente tubería de servicio: 29,41

$$\text{Pérdidas} = (50,7 \cdot 37,61) / (8,21 \cdot 1\,000) = 0,23$$

- Área de costura
 - Diámetro tubería: 1/2”.
 - Caudal: 15 CFM
 - Factor F de pérdida principal: 114
 - Longitud de tubería principal: 80 ft.
 - Longitud equivalente de accesorios: 2,08

$$\text{Pérdidas} = (114 \cdot 82,08) / (8,21 \cdot 1000) = 1,14$$

- Montado uno
 - Diámetro tubería: 1”.
 - Caudal ≈ 50 CFM
 - Factor F de pérdida secundaria: 54,4
 - Longitud de tubería secundaria: 219 ft.
 - Longitud equivalente de accesorios: 21,11 ft.

$$\text{Pérdidas} = (54,4 \cdot 240,11) / (8,21 \cdot 1\,000) = 1,59$$

- Montado tres
 - Diámetro tubería: 5/8".
 - Caudal \approx 31,24
 - Factor F de pérdida secundaria: 263,3
 - Longitud de tubería secundaria: 236 ft.
 - Longitud equivalente de accesorios: 20,86 ft.

$$\text{Pérdidas} = (365,73 \cdot 256,86) / (8,21 \cdot 1\,000) = 11,44$$

- Tubería principal
 - Diámetro tubería: 1"
 - Caudal: 78,53 CFM
 - Factor F de pérdida secundaria: 106,6
 - Longitud de tubería: 187 ft.
 - Longitud equivalente: 48,19 ft.

$$\text{Pérdidas} = (106,6 \cdot 235,19) / (8,21 \cdot 1\,000) = 3,05$$

El porcentaje de pérdidas por fricción en todo el sistema de distribución de aire comprimido.

$$\Delta P = 0,23 + 3,05 + 11,44 + 1,59 + 1,14 = 17,45$$

$$\% \text{ de pérdida en todo el sistema} = (16,38 \cdot 100) / 106 = 16,42 \%$$

2.4. Justificación

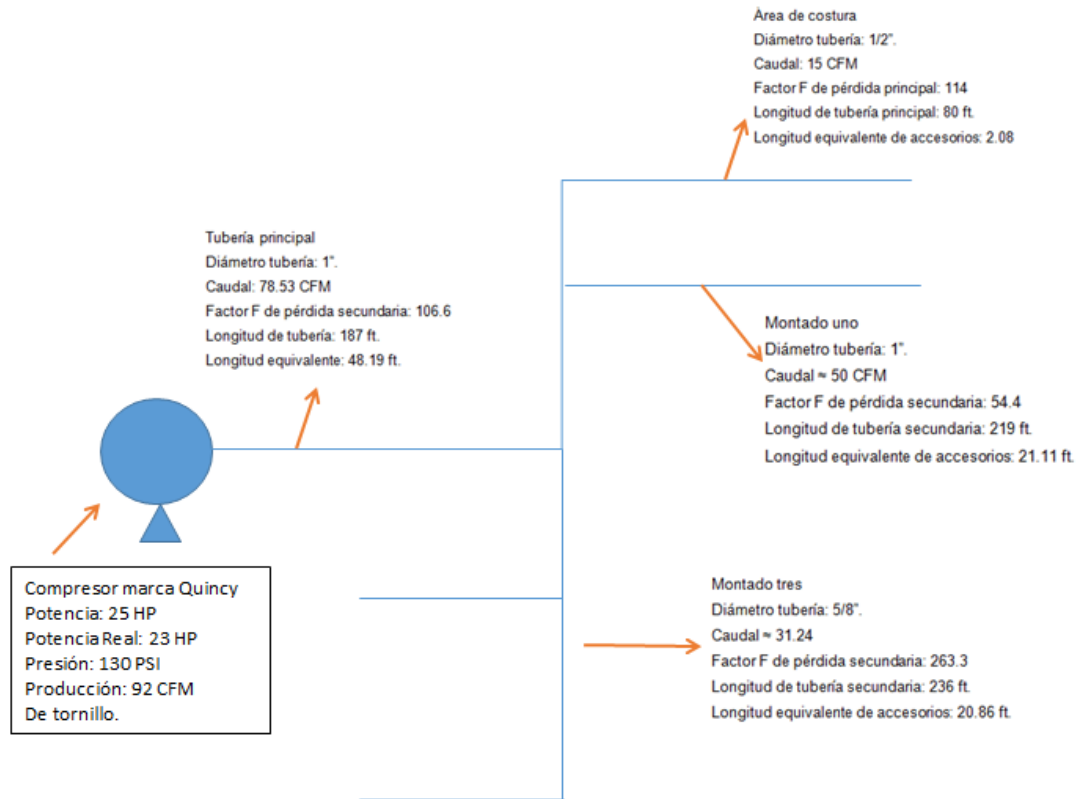
El origen de averías y fallos en maquinaria durante el proceso de producción pueden ser por diversas causas. Sin embargo, algunas pueden ser controladas o disminuidas mediante ciertas correcciones, identificando el origen de los fallos o deficiencias.

- Mal diseño o errores de cálculo (12 %)
- Defectos de fabricación (10 %)
- Mal uso y mantenimiento de equipos (40 %)
- Por desgaste natural o envejecimiento (11 %)
- Fenómenos naturales y otras causas (27 %)

El aire comprimido es una fuente de energía que debe ser transportado de manera eficiente y óptima para ser aprovechada al máximo, Sin embargo, puede verse afectado por diversas causas como un mal diseño de la red de distribución, condensados las tuberías o pérdidas por fugas, pueden provocar un aumento en los costos de energía y también disminuir la vida del compresor.

Por esta razón, un buen diseño es fundamental para el transporte del aire comprimido, además de que puede afectar la calidad del producto final o deficiencia de las máquinas. Actualmente se tiene una deficiencia del 16,42 % ocasionado por fugas, diámetros incorrectos, falta de accesorios filtrantes y deficiencia en las evacuación de condensados.

Figura 28. Diagrama actual de la red distribución del aire



Fuente: elaboración propia.

Actualmente en una producción diaria de 8 horas se fabrican 1 000 pares de zapatos. Con un precio promedio de Q 120,00. Si analizamos esto se puede deducir que se cuenta con una producción de Q 15 000,00 por hora equivalente a 125 pares hora.

En una producción mensual de 22 días de trabajo equivalente a 192 horas laborales se tiene un promedio de paros inesperados de 5 horas. (2,6 % del total de producción). Del cual el 50 % son problemas relacionado con el aire comprimido, herramienta o equipo neumático. Sin mencionar que afecta la calidad del producto en algunas ocasiones debido a la mala calidad del aire.

Esto Representa 2,5 horas equivalente a 312 pares de zapatos con un valor total de Q 37 500,00, De esta cantidad la representación por fallos de diseño (12 %), mal uso y falta de mantenimiento (40 %) tenemos una pérdida mensual de Q 19 500,00. Sin embargo, la empresa maneja un valor de utilidad del 40 % entonces la pérdida corresponde a Q 7 800,00 mensuales.

Con lo descrito, analizado e información recolectada anteriormente, puede deducir que la red de distribución de aire comprimido, presenta deficiencias en su diseño que actualmente ostenta una deficiencia del 16,42 %.

Con el rediseño se espera tener un punto de referencia con mejor recurso de información en cuanto capacidad, en el caso sea necesario futuras ampliaciones en la red de distribución de aire comprimido por implementación o expansión de nueva maquinarias en las líneas de producción de la empresa, permitiendo aprovechar al máximo su caudal de aire generado sin que represente una disminución significativa de la eficiencia del sistema de aire comprimido.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Selección de red de distribución

Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido tal como se muestra en el capítulo uno. En una red de aire el factor más esencial de todos es la distribución de agua o condensados en la red. Dado que los datos de pérdidas, velocidad y presión pueden ser calculados matemáticamente sin mayor dificultad. En cambio las zonas de acumulación de agua en una red son percibidas por la pericia del ingeniero. Por tal razón se analizarán las posibles configuraciones de una red de aire por esta y otras razones, se seleccionará la distribución que pueda satisfacer las necesidades de la empresa.

Según lo descrito anteriormente y al analizar las tres configuraciones del capítulo uno. Se considera que el circuito cerrado es el más adecuado para la línea de aire comprimido a instalar, esto para facilitar las labores de mantenimiento, debido a que se podrá aislar determinado sector del circuito sin afectar el funcionamiento de la red por completo, evitando de esta manera la paralización de la planta de producción. A su vez mantiene la presión más estable en cada punto de servicio. Por lo tanto, se implementarán en la medida de lo posible anillos para llevar acabo lo descrito.

3.2. Planos de diseño para red de distribución de aire

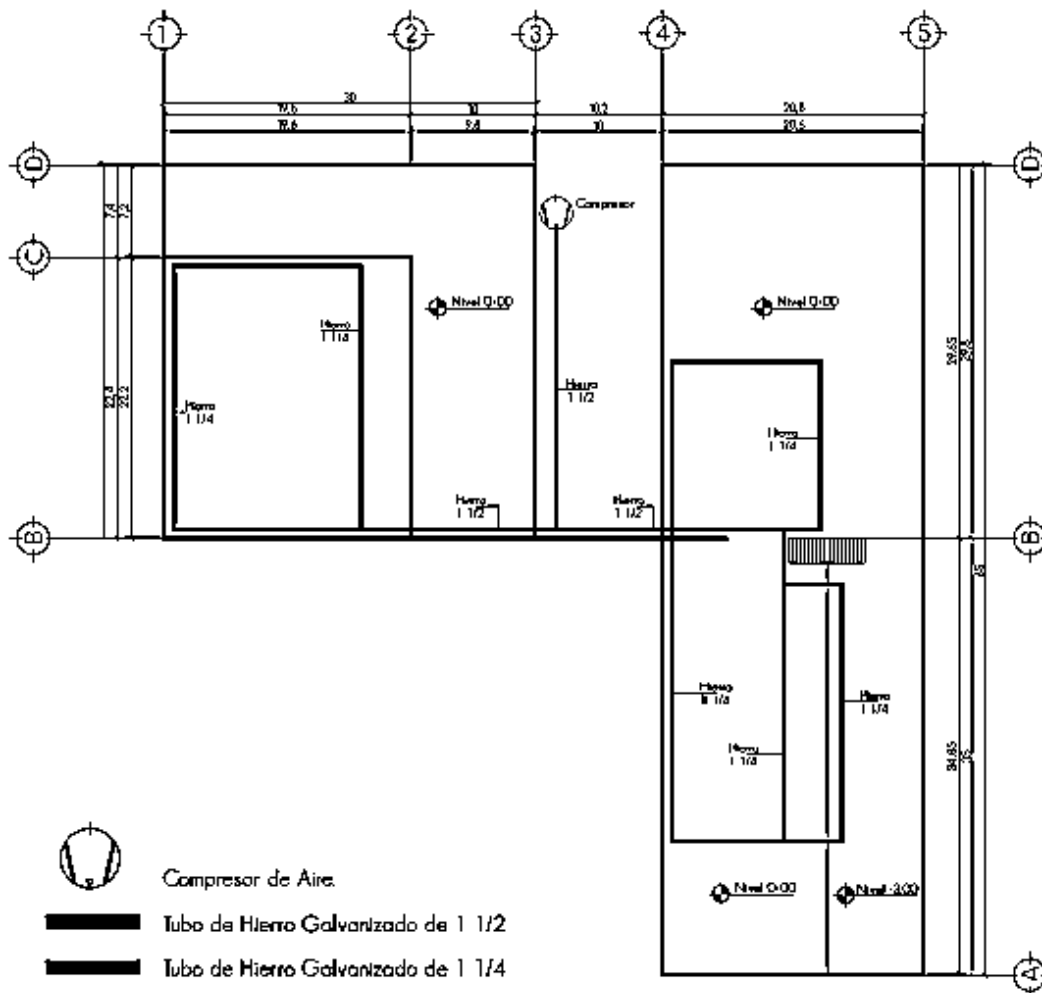
Con el plano de la línea de aire comprimido se trata de establecer la ubicación exacta de la altura de la tubería, la cantidad y el posicionamiento de los accesorios necesarios (codos, tees, reductores, unidades de mantenimiento, soportes de la tubería), además de establecer la longitud de cada tramo de tubería, lo cual es de importancia para el cálculo de dimensionamiento.

Para el diseño y realización de los planos de las líneas de aire, ubicación de tuberías, accesorios, compresores, se utilizarán las siguientes recomendaciones:

- Diseñar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.
- Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, tees, y cambios de sección que aumentan la pérdida de presión en el sistema.
- La tubería siempre deber ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Esto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones, fácil inspección y accesibilidad para el mantenimiento. Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación dimensional.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos y así evitar accidentes.

- En la instalación de la red deberá tenerse en cuenta cierta libertad para que la tubería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura. Si esto no se garantiza es posible que se presenten combas con su respectiva acumulación de agua.
- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería sí soportan el nuevo caudal.
- Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evacuación de condensados.
- Para el mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso frecuentemente en la red. Con esto se evita detener el suministro de aire en la red cuando se hagan reparaciones de fugas o nuevas instalaciones.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.
- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería para evitar el descenso de agua por gravedad, hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado. Un ejemplo de dicha conexión se muestra en la figura 30.

Figura 29. Plano de distribución de aire comprimido



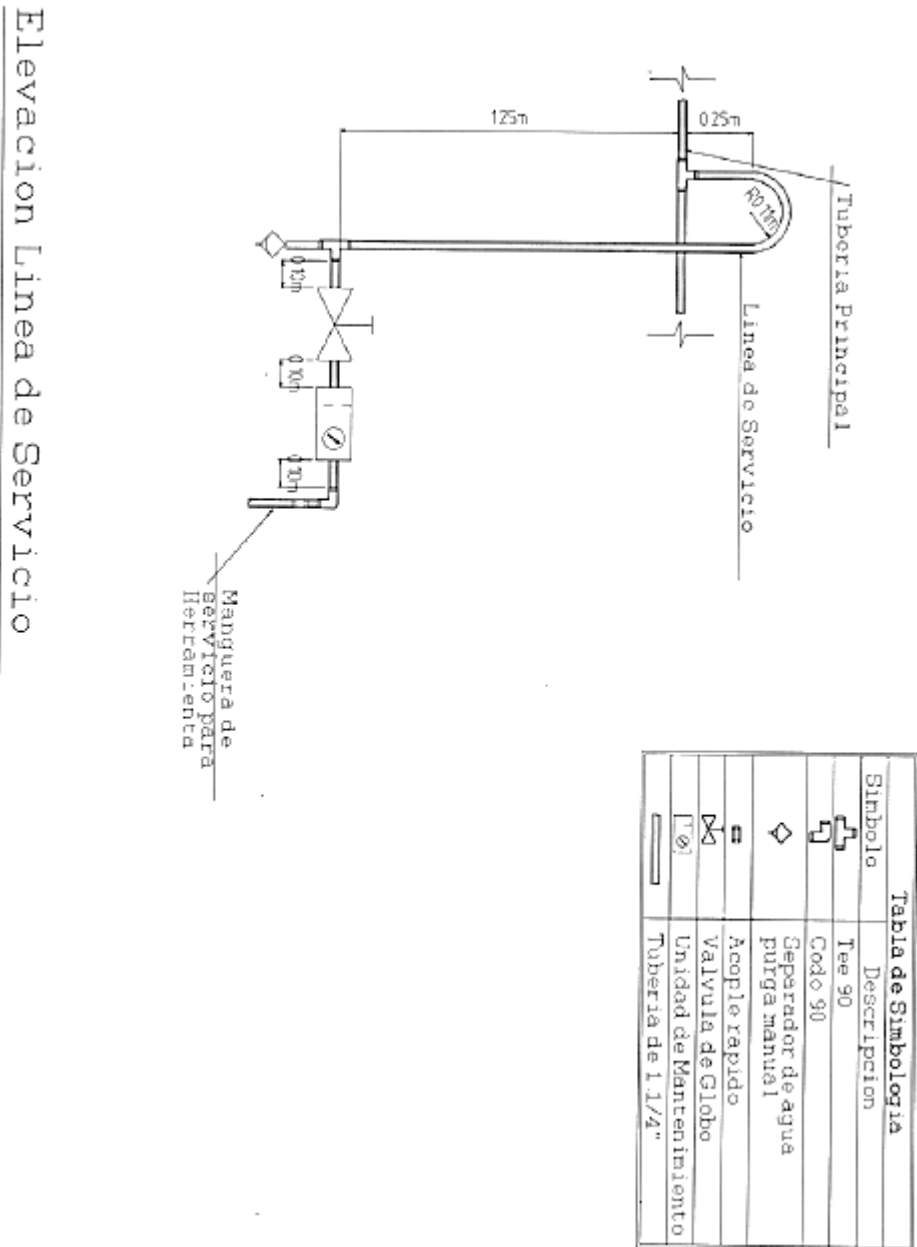
ESPECIFICACIONES:

- *El fluido es Aire Comprimido.
- *Presión máxima del fluido no deberá ser mayor a 125 psi.
- *La longitud total de tubería de hierro galvanizado es de 772ft o 220mt
- *La tubería debe de ser de Hierro galvanizado schedule 40

ESCALA 1:500

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 30. Planos de las líneas de servicio



Fuente: Ing. RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática en la empresa turbo servicios de C.A.* p. 53.

3.3. Selección de tubería

Las tuberías están hechas de varios materiales pudiendo ser estas de: cobre, hierro negro, latón, galvanizado, inoxidable, aluminio o plástico. Para la selección de tubería a utilizarse en el sistema de distribución de las líneas de aire comprimido, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de tubería (principal, secundaria, de servicio)
- Presión en la tubería.

La línea principal y secundaria conviene que se desarmen de una manera fácil, que sean resistentes a la corrosión y de precio módico. Al utilizar tubería galvanizada o hierro. El inconveniente son las uniones y radica en que al soldar se producen cascarillas o escorias las cuales deben de retirarse de las tuberías. También de la costura de soldadura normalmente se desprenden fragmentos de oxidación; esto hace necesario la incorporación de unidades de mantenimiento.

En las tuberías galvanizadas, los empalmes de rosca no siempre son totalmente herméticos. También sufre de corrosión en los lugares desnudos (roscas) también se oxidan, entonces se hace necesario emplear unidades de mantenimiento. Para casos especiales se montan tuberías de cobre o plástico.

Para la línea de servicios, normalmente se usan tubos flexibles de goma, solamente y se utiliza cuando es inevitable flexibilidad en la tubería y no sea posible instalar tuberías de plástico debido a esfuerzos mecánicos existentes. Suelen ser más caros y no cuentan con mucha flexibilidad como las tuberías de plástico. Con racores rápidos se pueden instalarse de forma rápida, sencilla y económica.

Al realizar un análisis de las necesidades en la planta, la estructura del edificio y la ubicación de la herramienta neumática, se recomienda instalar tubería galvanizadas, debido a su balance entre resistencia y costo. Estas tuberías serán roscadas con los accesorios, utilizando teflón para formar un sello desmullendo o evitando así las fugas de aire. También se recomienda, uniones soldadas entre tuberías para facilitar el desmontaje de la tubería y agilizar el programa de mantenimiento. La tubería tendrá que soportar una presión mínima de 125 Psi.

3.4. Selección de accesorios

Observando las instalaciones actuales de la empresa, conociendo los procesos y máquinas útiles para llevar a cabo las tareas diarias de producción, se pudo determinar los accesorios que la red necesita para suministrar el aire comprimido con la calidad adecuada para el proceso. De los cuales algunos accesorios existen actualmente, pero otros muy importantes no están presentes, afectando directamente la calidad del aire y disminuyendo la vida útil de la red de distribución, maquinarias y herramientas. A continuación se hace mención de los accesorios necesarios.

- Secador de aire: actualmente se cuenta con uno secador por refrigeración y es el adecuado según el fabricante. Solo habrá que brindar un mantenimiento programado para que este no sufra más desgaste.

- Tanque de almacenamiento: actualmente se tiene un tanque pero carece de mantenimiento, debe de implementarse un programa de purgas pues puede ocasionar corrosión la falta de esté.
- Filtro de partículas de aceite: actualmente no se hace uso de este filtro, el cual es importante para reducir las partículas de aceite que pueda encontrarse en el aire comprimido arrastrado del compresor. Pudiendo no ser compatible con la tubería, provocando un desgaste, y causando inconvenientes de taponamiento, desgaste por viscosidad o incompatibilidad en la maquinaria.
- Purgadores: en la actualidad no existe algún filtro o trampa de condensados que pueda expulsar el agua de la tubería principal, lo cual ocasiona que la calidad del aire no sea adecuado para procesos de pintura. Por lo que se recomienda la implantación de tuberías de drenaje con purgadores automáticos, mecánicos o con llaves para realizarse manualmente
- Unidades de mantenimiento: la mayoría de equipos no cuenta con unidades de mantenimiento, pudiendo provocar desgaste prematuro o problemas en la calidad de servicio que presta la máquina. Es necesario implementar pues se disminuirán problemas de calidad o de desgaste prematuro mayormente en herramientas o válvulas neumáticas.
- Accesorios de tubería: a continuación se hará un recuento de los accesorios necesarios que se usarán para conformar el sistema de distribución de la red de aire comprimido. El listado de accesorios incluye: los accesorios de la línea principal; línea secundaria y las de servicio.

Tabla X. **Accesorios de tubería para sistema de distribución de aire comprimido**

	Accesorio	Cantidad
Accesorios para tubería principal	Vueltas	6
	Tee	1
	Válvula de compuerta	1
	Válvula de paso	2
Accesorios para tubería de distribución o secundaria.	Vueltas	11
	Tee	4
	Válvula de paso	2
	Reductores	2

Fuente: elaboración propia

Tabla XI. **Líneas de servicio (sumatoria de accesorios para todas las líneas de servicio)**

Accesorio	Cantidad
Tees	41
Válvulas de paso	41
Cuello de Cisne	41
Unidad de mantenimiento	41
Acople rápido hembra	41
Acople rápido macho	41
Manguera de 5 metros	41
Reductores	41

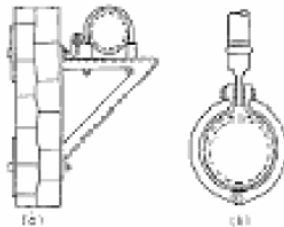
Fuente: elaboración propia

3.5. Selección de soporte para tubería

Los soportes son seleccionados según la arquitectura del edificio. Tendrán una base rígida y resistente. Por la arquitectura del edificio y la separación entre cada columna (aproximadamente 5 m.) el soporte que más se acopla a las necesidades de dicha instalación es la ménsula soldada como se mostró en la figura 8, ya que esta puede acoplarse tanto en la pared como en las columnas metálicas. Solo se utilizarán soportes aéreos donde sea ameritado u obligatorio el uso.

Este soporte permite colocar la tubería aéreamente, con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones y fácil inspección, aspectos importantes en el mantenimiento de la línea de aire.

Figura 31. **Soporte seleccionado para tuberías**



Fuente: AVALLONE Eugene y THEODORE Baumeister III. *Manual del Ingeniero Mecánico*, p. 8-239.

En la tabla X se detalla la distancia vertical y horizontal entre cada soporte dependiendo del diámetro de la tubería, siendo el diámetro en pulgadas y la distancia entre soporte en metros. Los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección. El peso de la tubería no debe cargarse a los cuerpos de válvulas.

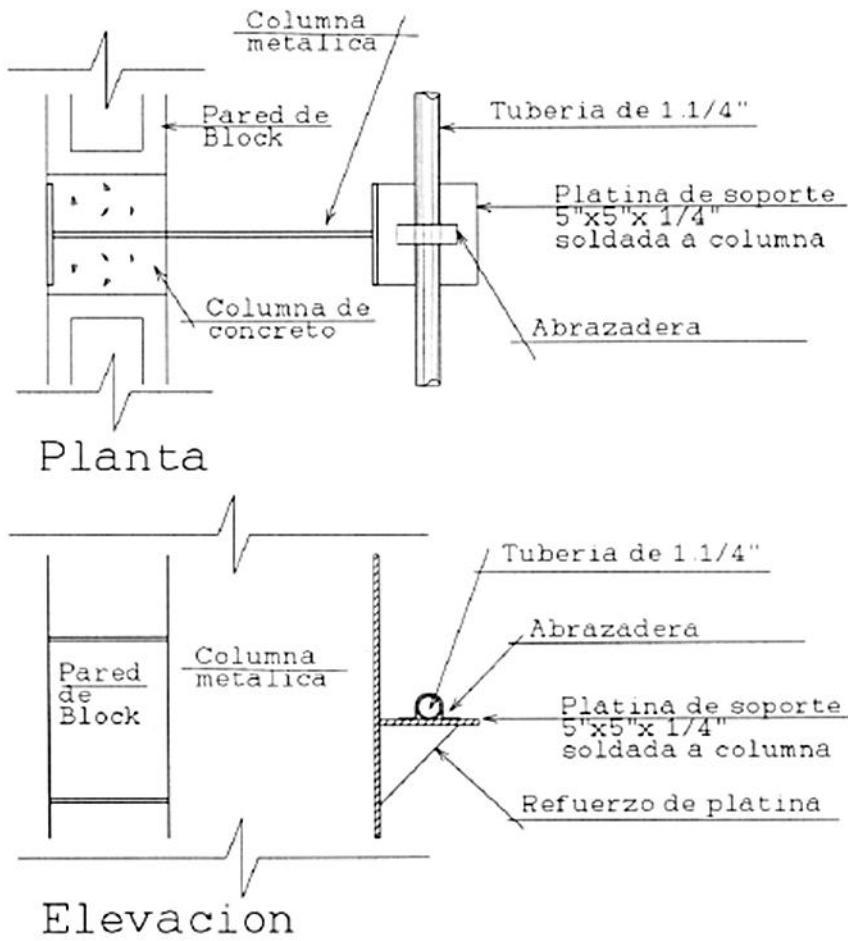
Tabla XII. **Distancia entre soporte según diámetro**

Diámetro De tubería	HORIZONTAL (m)	VERTICAL (m)
¼"	1,25	1
½ "	1,75	1,25
¾"	2,7	1,75
1 ¼"	3	2,5
1 ½"	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 ¼"	3	2,5
1 ½"	3	2,5

Fuente: ROSALES, Robert. *Manual de mantenimiento industrial*. p. 97.

En las figuras 32 y 33 se ilustran los dos tipos de soportes que se utilizarán dependiendo de la ubicación de las mismas sobre la estructura metálica o sobre la pared, ilustrando lo necesarias para su fabricación.

Figura 32. Soporte de tubería en columna metálica

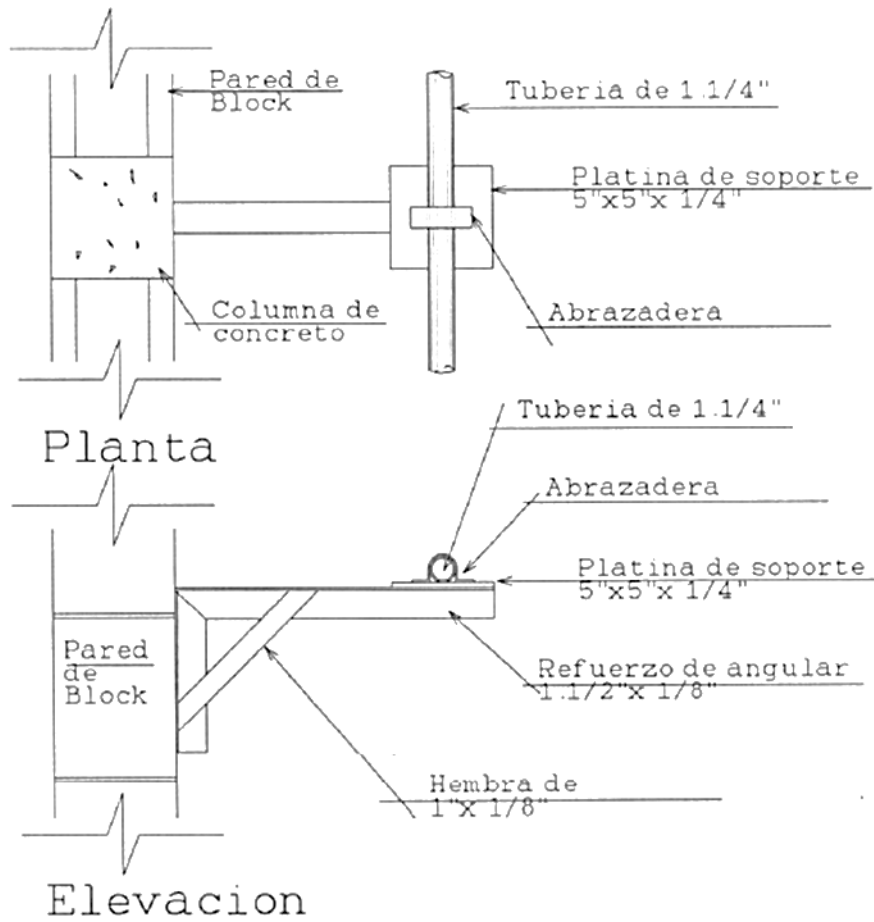


Detalle de anclaje en columna metálica

esc: 1:10

Fuente: Ing. RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática en la empresa turbo servicios de C.A.* p. 59.

Figura 33. Soporte de tubería en columna de concreto



Detalle de anclaje en columna de concreto

esc: 1:10

Fuente: Ing. RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática en la empresa turbo servicios de C.A.* p. 60.

3.6. Cálculo de demanda de caudal y presión

Para el cálculo del diámetro de la tubería, inicialmente se necesita el caudal o flujo máximo, la caída de presión, y la presión a la que trabajará el sistema. Para el cálculo del caudal, es importante conocer el consumo por área el cual fue descrito anteriormente, además se le agrega un grado de utilidad o de simultaneidad que ayuda obtener un dato más exacto del consumo real teórico.

Tabla XIII. Consumo de caudal por área de trabajo

Área	CFM	Factor de simultaneidad	Caudal real teórico
Consumo CFM costura	25,61	0,35	8,96
Consumo CFM montado 1 y 2	58,93	0,40	23,60
Consumo CFM montado 3	53,87	0,40	21,60
Total			54,16

Fuente: elaboración propia.

Conociendo el consumo por área y observando el proceso de los trabajos, se determinó el grado de simultaneidad por línea de producción. La suma total será el dato a utilizar en la ecuación expuesta en el inciso 1,11, dando como resultado el valor útil de caudal (QT) para las siguientes operaciones matemáticas.

$$\text{Consumo CFM (Q)} = 54,16$$

$$Q T = Q + Q * 0,05 + Q * 0,10 + Q * 0,30 \text{ (f. 2)}$$

$$QT = 54,16 + (54,16 * 0,05) + (54,16 * 0,10) + (54,16 * 0,30)$$

$$QT = 78,53$$

Otro dato importante es la presión máxima de trabajo, en este caso se obtiene mediante la comparación de presión de trabajo utilizado por cada máquina o herramienta. El valor máximo de la presión de trabajo requerida en la instalación viene dado por la presión máxima requerida en algún accionamiento de un equipo neumático.

Tabla XIV. **Presión máxima requerida por maquinaria**

Área	Máx. Presión
Presión máxima en área de costura	80
Presión máxima en área de montado 1 y 2	100
Presión máxima en área de montado 3	100
Presión máxima de trabajo	100

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIV fue formada a partir de los valores obtenidos en la fase de investigación (véase inciso 1.10). Como se explicó anteriormente, al comparar los datos se determina que la presión máxima de trabajo es de 100 Psi. Con el valor obtenido y mediante la ecuación número 2, el cual determina un valor teórico de la presión de trabajo en las líneas de distribución.

$$P2 = P1 + P \text{ (f. 7).}$$

$$P2 = 100 + (100 * 0,06)$$

$$P2 = 106 \text{ Psi}$$

Mediante el cálculo anterior obtenemos que la presión de trabajo requería es de 106 Psi. Con este dato se calculará más adelante las pérdidas ocasionadas por la presión, también nombrada factor R.

3.7. Cálculo de longitud de tubería

El cálculo de la longitud de la tubería de aire comprimido se realizará a través del análisis de los planos de la línea de aire. A través de este análisis se establecerá la longitud de cada línea (principal o secundaria) y por lo tanto, la longitud de todo el circuito de aire comprimido.

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

Tipo de tubería	Ubicación	Longitud en metros	Longitud en pies
Tubería de principal	Del compresor a tuberías de distribución.	57	187
Tubería secundaria 1	Montado 3	72	236
Tubería secundaria 2	Montado 1 y 2, Costura	91	299
	Total de longitud real	220	722

Fuente: elaboración propia.

3.8. Cálculo de pérdidas

La pérdida de presión permisible está comprendida entre el 3 – 6 % de la presión. Esta se obtiene de la sumatoria de las pérdidas de presión de cada línea de aire más las caídas de presión establecidas en los demás accesorios. Para la determinación de las pérdidas de presión, se debe determinar primero el factor R, el cual es la pérdida debido a la presión de trabajo.

Para calcular el factor R, se necesita saber la presión de trabajo y la presión atmosférica. Para la presión atmosférica se utilizará el valor teórico de 14,7 Psi. La presión de trabajo fue calculada anteriormente y dio un valor de 106 Psi.

$$R = \frac{\textit{presión de trabajo} * \textit{presión atmosférica}}{\textit{presión atmosférica}}$$

$$R = \frac{106 + 14,7}{14,7} = 8,21$$

El factor anterior se importante para determinar la pérdida de presión admisible en la ecuación siguiente, pero también son útiles otros datos para calcular el diámetro óptimo para la red de tuberías. La cuales se mencionan a continuación:

- La longitud de la tubería recta hasta el punto más lejano. (Calculado en el inciso anterior)
- Tipos de accesorios utilizados y la cantidad (convertida a longitud equivalente de tubería).
- Factor R el cual depende de la presión y no cambia una vez calculada. Solo se harán interacciones con el diámetro de la tubería.

3.9. Cálculo de diámetro de tubería

Para el cálculo del dimensionamiento de tuberías y accesorios se debe de seguir el procedimiento descrito en el apartado 2,7 además de utilizar la tabla VII. Para el cálculo de longitudes equivalente de los accesorios.

Primer Iteración: para determinar si la pérdida de presión es admisible se utilizará un diámetro arbitrario, el cual será de una tubería de 1 ¼" para la tubería principal y de 1" de diámetro para la tubería secundaria. De los incisos anteriores conocemos lo siguientes datos:

- Longitud de tubería principal: 187 ft.
- Longitud de tubería secundaria: 535 ft.
- Diámetro tubería principal: 1 ¼"
- Diámetro tubería secundaria: 1"
- Factor R de pérdidas: 8,21
- Factor F de pérdida principal: 28,50
- Factor F de pérdida secundaria: 139,20

Para la pérdida producida por accesorios se calculará a continuación, convirtiendo esta pérdida en longitudes equivalentes. Debido a que no se conoce el valor de longitud equivalente en una vuelta se utilizará la ecuación núm. 1, de codos equivalentes como se explicó anteriormente en el inciso 1,10

Tabla XVI. **accesorios para tubería principal diámetro 1 ¼"**

Accesorio	Cantidad	Diámetro	L. equivalente unitaria (ft)	L. equivalente total (ft)
Vueltas	6	1 ¼"	1,30	7,8
Tee	1	1 ¼"	1,38	1,38
Válvula de compuerta	1	1 ¼"	0,81	0,81
Válvula de paso	2	1 ¼"	19,1	38,2
Total			22,59	48,19

Fuente: elaboración propia.

Sumando los totales de las tablas anteriores se obtiene la longitud equivalente de 106,21 ft.

$$Perdidas = \frac{28,50 * 235,19}{8,21 * 1\ 000} = 0,82$$

Tabla XVII. **accesorios para tubería de distribución o secundaria**

Accesorios	Cantidad	Diámetro	Long. unitaria (ft)	Long. equivalente (ft)
Vueltas	11	1"	1,04	11,45
Tee	4	1"	1,05	4,20
Válvula de paso.	2	1"	14,6	29,20
Total				44,85

Fuente: elaboración propia.

$$Perdidas = \frac{139,20 * 579,85}{8,21 * 1\ 000} = 9,83$$

Para las líneas de servicio se realizará asumiendo los siguientes datos, utilizando el caudal máximo consumido por una máquina y otros datos estándar de acuerdo a la maquinaria y condiciones de la empresa.

- Longitud de tubería de servicio: 8,2 ft.
- Diámetro tubería principal: ½"
- Factor R de pérdidas: 8,21
- Caudal máximo: 10 CFM
- Factor F de pérdida principal: 50,7

Tabla XVIII. **Longitud equivalente accesorios para línea de servicio**

Descripción	Cantidad	Longitud equivalente Pies
Tubería	1	8,2
Válvula de Angulo	1	17,3
Tees	1	0,62
Cuello de cisne	1	4,27
Filtro separador	1	6,56
Reductor	1	0,66
Total de longitud:		37,61

Fuente: elaboración propia.

Con los datos calculados anteriormente, mediante la ecuación núm. 5 se obtiene el siguiente resultado.

$$Perdidas = \frac{50,7 * 37,61}{8,21 * 1\ 000} = 0,23$$

Con los datos de pérdida ocasionada por cada tipo de tubería se realizará una sumatoria para posteriormente determinar el porcentaje de pérdida y si este se encuentra dentro del rango recomendado, mediante la ecuación número 6.

$$\Delta P = 0,82 + 9,38 + 0,23 = 10,43$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{10,43 * 100}{106} = 9,83 \%$$

Al analizar 9,83 % de pérdidas obtenido con los diámetros de 1" para la tubería principal, diámetro de 1 ¼" para la tubería secundaria y para la tubería de servicios con un diámetro de ½", ocasionan una pérdida no aceptables de caída de presión, se hará una iteración con distintos diámetros.

Segunda Iteración: debido a que la pérdida no es la correcta, se utilizará tubería de 1 ¼" para la tubería de distribución y 1 ½" para la tubería principal, con el fin de disminuir costo también. De los incisos anteriores se conocen lo siguientes datos:

- Diámetro tubería principal: 1 ½"
- Diámetro tubería de distribución: 1 ¼"
- Longitud de tubería principal: 187 ft.
- Longitud de tubería secundaria: 535 ft.
- Factor R de pérdidas: 8,21

- Factor F de pérdidas para tubería principal: 12,6
- Factor F de pérdidas para tubería secundaria: 28,5

Para la pérdida producida por accesorios se calculará a continuación, convirtiendo esta pérdida en longitudes equivalentes.

Tabla XIX. **Cálculo longitud equivalente tubería principal diámetro 1 ½"**

Accesorio	Cantidad	Diámetro	Longitud equivalente (ft)	Longitud equivalente (ft)
Vueltas.	6	1 ½"	1,56	9,36
Tee.	1	1 ½"	1,61	1,61
Válvula de compuerta.	1	1 ½"	0,94	0,94
Válvula de paso.	2	1 ½"	44,7	89,4
Total.			48,81	101,31

Fuente: elaboración propia.

$$Perdidas = \frac{12,6 * 288,30}{8,21 * 1\ 000} = 0,42$$

Tabla XX. **Cálculo longitud equivalente tubería principal diámetro 1 ¼"**

Accesorio	Cantidad	Diámetro	Longitud unitaria (ft.)	Longitud equivalente (ft.)
Vueltas	11	1 ¼"	1,30	14,3
Tee	4	1 ¼"	1,38	5,52
Válvula de paso.	2	1 ¼"	19,1	38,2
Total				58,02

Fuente: elaboración propia.

Con los datos calculados anteriormente, mediante la ecuación número 4 se obtiene el siguiente resultado.

$$Perdidas = \frac{28,5 * 593,02}{8,21 * 1\ 000} = 2,06$$

Con los datos de pérdida ocasionada por cada tipo de tubería se realizará una sumatoria para posteriormente determinar el porcentaje de pérdida y si este se encuentra dentro del rango recomendado, mediante la ecuación número 6.

$$\Delta P = 0,42 + 2,06 + 0,23 = 2,71$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{2,71 * 100}{106} = 2,56 \%$$

Al analizar 2,56 % de pérdidas obtenido con los diámetros de 1 ½” para la tubería principal, tubería secundaria de diámetro 1 ¼” y para la tubería de servicios diámetro de ½”, se puede observar que el segundo dimensionamiento se mantiene dentro de los valores aceptables de caída de presión, y es esta opción la que da un porcentaje de caída de presión menor.

3.10. Cálculo y selección del compresor

El compresor a seleccionar debe de cumplir con lo siguiente: debe ser capaz de proveer una presión de 106 Psi y un caudal de 79 CFM. Para fines de cálculo se incrementa un 10 % la capacidad de presión entregada por el compresor como factor de seguridad para disminuir posible riesgos imprevistos.

$$\text{Presion del compresor} = 106 * (106 * 10 \%) = 116,6 \approx 120 \text{ Psi.}$$

Como un compresor típico produce 4 CFM por cada HP la potencia necesaria para un compresor de 79 CFM sería de 20 caballos lo cual es una buena potencia de trabajo.

Por su alta eficiencia, por su nivel bajo de ruido, por su nivel de mantenimiento tan bajo, y por la capacidad de entregar aire sin tener altas fluctuaciones en la presión, se decidió por un compresor de tipo tornillo. A continuación se detalla los datos para seleccionar el compresor.

Tabla XXI. **Datos para selección de compresor**

Presión:	120 Psi	Caudal:	79 CFM
Potencia:	20 Hp	Tipo de compresor:	De tornillo.
Accionamiento del motor:	Eléctrico	Tipo de secador:	Por sistema de refrigeración.
Lugar o ubicación:	Fuera de la planta.		

Fuente: elaboración propia.

Actualmente se tiene un compresor de tornillo de 25 Hp, el cual entrega un caudal de 92 CFM a 125 Psi. Y aunque este un ligeramente sobredimensionado es adecuado. Sin embargo, necesita de elementos o accesorios para una mejor calidad de aire. El tipo secador actualmente cubre las necesidades para el nuevo diseño pero carece de manteamiento.

3.11. Costos e inversión

Para llevar a cabo todos los cambios en el diseño de red, no solo debe de modificarse el sistema de distribución, sino corregir algunos aspectos que ayudará a la calidad del servicio que presta actualmente la red.

En las tablas XXII a la XXV fueron cotizados por proveedores actuales de la empresa, las tablas están basadas en cotizaciones adjuntas en la parte final del trabajo, las cuales ya incluyen mano de obra y otras descripciones en las propuestas de los proveedores. Las tuberías son de hg y los elementos son según indicaciones del fabricante del compresor.

Tabla XXII. **Costo elementos de preparación del aire comprimido**

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio Unitario	Precio Total
1	Elemento de filtro de partículas	OLZTAD, S.A.	Q 2 872,00	Q 2 872,00
1	Elemento de filtro de partículas	OLZTAD, S.A.	Q 2 872,00	Q 2 872,00
2	Drenado automático de condensado tipo flote para filtro	OLZTAD, S.A.	Q 1 100,00	Q 2 200,00
			Total	Q 7 944,00

Fuente: elaboración propia.

TABLA XXIII. Costo de tubería para red principal y secundaria

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
10	TUBERÍA 1 ½", 6 M DE LARGO	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 293,20	Q 2 932,00
28	TUBERÍA 1 ¼", 6 M DE LARGO	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 261,85	Q 7 331,81
6	VUELTAS DE 1 ½"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 93,37	Q 560,20
1	TEE DE 1 ½"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 44,20	Q 44,20
1	VÁLVULA DE COMPUERTA DE 1 ½"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 83,50	Q 83,50
1	VÁLVULA DE PASO DE 1 ½"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 127,20	Q 127,20
11	VUELTAS DE 1 ¼"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 71,63	Q 787,94
4	TEE DE 1 ¼"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 35,00	Q 140,00
2	VÁLVULAS DE PASO DE 1 ¼"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 156,00	Q 312,00
2	REDUCTOR DE 1 ½" A 1 ¼"	FERRETERÍA PETAPA, S.A.	Q 20,60	Q 41,20
			TOTAL	Q 12 360,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Costo tubería de servicio**

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio Unitario	Precio Total
18	Tubería de ½", 6 m de largo	Ferretería Petapa, S.A.	Q 109,30	Q 1 967,40
41	Tee de ½"	Ferretería Petapa, S.A.	Q 7,40	Q 303,40
41	Válvulas de paso ½"	Ferretería Petapa, S.A.	Q 40,00	Q 1 640,00
41	Cuello de Cisne ½"	Ferretería Petapa, S.A.	Q 16,00	Q 656,00
41	Acople rápido hembra ½"	Ferretería Petapa, S.A.	Q 5,90	Q 241,90
41	Acople rápido macho ½"	Ferretería Petapa, S.A.	Q 5,90	Q 241,90
			Total	Q 5 050,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Inversión total del proyecto**

Descripción	Precio
Elementos de preparación de aire.	Q 7 944,00
Red de tubería principal y secundaria	Q 12 360,05
Tuberías de servicio	Q 5 043,60
Total	Q 25 347,65

Fuente: elaboración propia.

Respecto al retorno de inversión se tiene previsto una Inversión inicial de Q 25 347,00 también se ha contemplado la implementación de servicio menor y servicio mayor al compresor el cual cada servicio tiene un costo de Q 4 300,00 y Q 8 270,00, respectivamente. También se incluyen Q 200,00 mensuales que cubrirán insumos y otros elementos de mantenimiento para mantener la eficiencia del sistema.

Anteriormente se analizó que las pérdidas debido a las deficiencias de diseño y falta de mantenimiento equivalente a 312 pares de zapatos equivalente Q 37 500,00. Sin embargo, en esta cifra se cuenta materia prima incluida y otros costos. Al aplicar un valor de utilidad del 40 %, el valor correspondiente es de Q 15 000,00. Con los cambios sugeridos en el rediseño se espera un ahorro del 22 %, el cual representa un margen Q 3 300,00 mensuales. Se tiene como referencia una inversión inicial de Q 25 347,65

Tabla XXVI. **Retorno de inversión**

Meses	Ingresos	Egresos
1	Q 3 300,00	Q 200,00
2	Q 3 300,00	Q 200,00
3	Q 3 300,00	Q 200,00
4	Q 3 300,00	Q 200,00
5	Q 3 300,00	Q 200,00
6	Q 3 300,00	Q 4 500,00
7	Q 3 300,00	Q 200,00
8	Q 3 300,00	Q 200,00
9	Q 3 300,00	Q 200,00
10	Q 3 300,00	Q 200,00

Continuación de la tabla XXVI

11	Q	3 300,00	Q	200,00
12	Q	3 300,00	Q	8 470,00
13	Q	3 300,00	Q	200,00
Total	Q	42 900,00	Q	15 170,00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVI se tienen egresos mensuales de Q 15 170,00 a esto se suma una inversión inicial de Q 25 347,65, se tiene como egresos un total de Q 40 517,65 y los ingresos ascienden a Q 42 900,00 dando como resultado un saldo positivo de Q 2 382,35 en un periodo de 13 meses, significando que el proyecto es rentable en este periodo es decir año y un mes.

4. FASE DOCENTE

4.1. Mantenimiento de red de distribución de aire comprimido

En la práctica, la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial, tanto en algunas aplicaciones de producción propiamente, como por ejemplo para que impurezas o condensados no afecten la calidad en el proceso de pintura o acabados, así como en el mantenimiento para conservación de los equipos y accesorios de la red de aire comprimido. estos parámetros fueron dados al equipo de supervisores y gerente de la empresa.

Figura 34. Personal administrativo y de mantenimiento de la empresa



Fuente: Euro Calzado S.A. *Salón de capacitaciones.*

4.1.1. Conservación de las unidades de mantenimientos

Al momento de implementar unidades de mantenimiento, se debe efectuar en periodos regulares de trabajos las siguientes tareas para la conservación de las unidades de mantenimiento: el filtro del aire comprimido debe revisarse periódicamente el nivel de agua condensada, que no debe sobrepasar nunca la altura marcada. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua, algunas disponen de dispositivos de purga automática, por lo que debe comprobarse su correcto funcionamiento.

Regulador o válvula reguladora, cuando esta válvula se encuentra precedida por un correcto sistema de filtrado, no necesita más mantenimiento que realizar que no tenga fugas. Para que el lubricador funcione correctamente se debe de verificar el nivel de aceite y de ser necesario, añadir lubricante según la herramienta o fabricante hasta el nivel marcado. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con disolventes, dado que pueden dañarlos.

Figura 35. **Unidad de F.R.L. Sin mantenimiento**



Fuente: Euro Calzado S.A. *Planta de producción.*

4.1.2. Fugas en la tubería

La energía neumática es la segunda más usada después de la energía eléctrica y por ello es importante que sea transportada a su punto de uso con las menores pérdidas posibles en su recorrido por el sistema de aire comprimido.

Las fugas es la causa de pérdida de energía más común en un sistema de aire comprimido, se debe porque el aire no tiene olor, no es visible y no incomoda cuando son pequeñas, caso contrario, por ejemplo con el gas propano o con el agua. En los sistemas de aire comprimido se tolera pérdidas de 5 % a 10 % del caudal entregado por el compresor. Estas pérdidas deberán ser solo por fugas en los equipos o herramientas, mas no en el sistema, el porcentaje a considerar dependerá de la dimensión del sistema.

Tabla XXVII. Pérdidas aproximadas por fugas

Diámetro del orificio de la fuga en mm.	Pérdida de aire comprimido (6 bar) en l/s	Pérdida de energía en kw
1	1,3	0,3
3	11,1	3,1
5	31,0	8,3

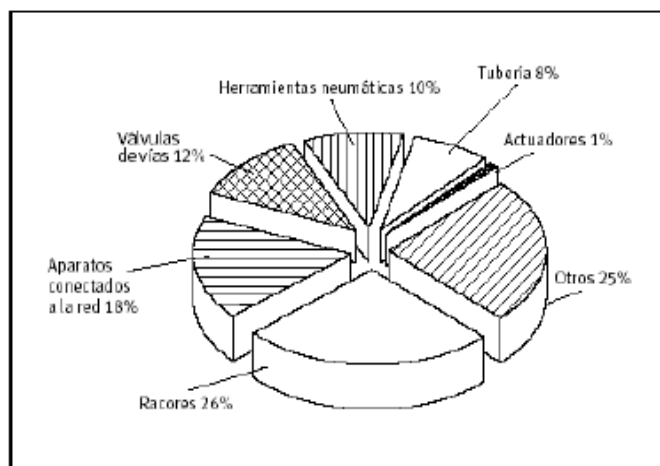
Fuente: Inga. CUXIL GARCÍA, Nancy Paola. *Mantenimiento y factores de seguridad industrial en redes de aire comprimido*. p. 79.

La pérdida de energía eléctrica en kilowatts debido a fugas, los datos están dados a una presión de 6 bares, (presión de trabajo normal). Estas fugas pueden representar un gasto energético bastante significativo y con el tiempo puede agrandarse, sino se detecta y repara a tiempo.

- Localización de fugas y control

Antes de eliminar las fugas hay que localizarlas primero. Uno de los métodos más difundidos para hacerlo, consiste en aplicar agua jabonosa en los lugares sospechosos. Si se forman burbujas, es fácil encontrar el orificio que causa la fuga de aire. Pero también puede recurrirse a métodos de medición para localizar las fugas. Para realizar esa tarea se puede aplicar un programa periódico de prueba de fugas. Si las fugas son grandes, el aire comprimido resulta ser un fluido bastante costoso. Además, las fugas que al principio son pequeñas, aumentan rápidamente. Se puede observar en la figura 36, una estadística de donde ocurren las fugas de aire con mayor frecuencia.

Figura 36. **Distribución de las fugas en la red de aire comprimido**



Fuente: Inga. CUXIL GARCÍA, Nancy Paola. *Mantenimiento y factores de seguridad industrial en redes de aire comprimido*. p. 80.

Otra forma de saber si hay de fugas, es encendiendo el compresor, cuando el tanque este lleno, observar si hay consumo de aire y en cuanto tiempo dura el mismo, sin que el compresor arranque de nuevo.

- Buen uso del aire comprimido

Este concepto depende de la reglamentación de la planta en el uso del aire del sistema, pues se ha observado en muchos casos, que el aire comprimido no es usado en actividades para la cual fue instalado, causando un incremento de demanda clandestina y por ende un mayor gasto de energía en cubrir esa demanda. Unos ejemplos de este uso indebido del aire comprimido son: soplado de la ropa de trabajo, soplado del piso del área de trabajo o limpieza del pelo.

La corrección de estas causas no requiere grandes costos y aunque así lo fuera, el ahorro de energía asegura su retorno además de reducir accidentes. Se deben instruir frecuentemente, sobre todo para trabajadores jóvenes, el riesgo que representa utilizar el aire comprimido para realizar bromas, aproximando las descargas del mismo a orificios del cuerpo humano.

A menudo los operarios usan pistolas de soplado para limpiarse de polvo y suciedad durante o después de una jornada laboral. Cuando se usa aire comprimido de esta forma, existe riesgo de que penetren burbujas de aire en la circulación sanguínea y causen un trombo (coágulo).

Las reglas de seguridad existentes se han promulgado después de varios accidentes mortales por esta causa en Estados Unidos, la seguridad es regulada por la normativa de OSHA. Acrónimo de *Occupational Safety and Health Administration*. El uso de aire comprimido es regulado por la Norma 1910.242. Inciso b, que establece que la presión de aire comprimido en contacto directo con la piel no debe sobrepasar 210 Kpa (30 Psi). Si es muy necesario darle este uso.

4.1.3. Modelo de bitácoras para control del mantenimiento

Con el fin de tener un mejor control y realizar el mantenimiento de la maquinaria de la empresa es necesario inicialmente contar con un listado de toda la maquinaria existente en la empresa, y ratificar con el contador de la si existe un inventario de maquinaria para el control contable.

A este listado se le llamará inventario técnico pues registrarán datos técnicos de cada una de las mismas. Mediante el uso de una ficha técnica que recauda la información técnica y datos de relevancia. A continuación se muestra el modelo de una ficha técnica. (Véase anexos)

Figura 37. modelo de ficha técnica



EURO CALZADO, S.A. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO. FICHA TECNICA DE MAQUINARIA.			
--	--	--	--

DATOS DE MAQUINARIA			
Nombre:		Fabricante:	
Modelo:		Serie:	
Código:		Otros:	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Voltaje:		Lubricante:	
Amperaje:		CFM/ Presión de trabajo:	
Kw:		Otros:	


Observaciones:

Fuente: elaboración propia.

Las bitácoras de mantenimiento son útiles para anotar la fecha y causas de los de trabajo generadas por la máquina. Con eso puede iniciarse un historial de fallas y averías de cada máquina, y ser útil al momento para deducir el estado del equipo, incluso si el equipo presenta fallas muy constantes, se tiene un parámetro tomar las decisiones correspondientes.

Las consideraciones respecto a las partes a inspeccionar, los repuestos, los periodos de inspección de cada máquina podrán ser determinados con mayor exactitud gracias a los datos recopilados en esta ficha. El modelo siguiente se deberá anotar datos vitales que ayuden en las tareas de mantenimiento. Los cuales se detallan a continuación. (Véase anexos)

Figura 38. **Modelo de bitácora**



EURO CALZADO, S.A.
 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.
 BITACORA DE MANTENIMIENTO.

Datos de máquina.			
Nombre de maquina:	Código:		
Ubicación:	Otros:		

No.	Fecha	Descripción de la actividad	tipo de mantenimiento	Repuesto	Técnico o profesional	Responsable (Recibe)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Observaciones: _____

Fuente: elaboración propia.

Estas bitácoras será útiles para la tarea de conservación del compresor y elementos del sistema de aire comprimido. Para llevar a cabo dicha tarea en la bitácora deberá anotarse datos que generales para identificar las máquinas, como lo es el nombre código y otros. A continuación se describirá los campos a llenar en la ficha mostrada anteriormente.

- Partes y componentes principales: aquí se incluirán las partes y componentes que al fallar pueden causar un paro en la maquinaria. Esto resulta de vital importancia ya que son puntos claves que ayudan a una rápida detección de una parte de la máquina que esta defectuosa y próxima a descomponerse.
- Fecha en la cual se realizó la reparación a la máquina
- Parte y componentes reparados; son las piezas de la máquina que fueron reparados o cambiados por repuestos nuevos.
- Trabajo efectuado: especificación detallada del trabajo realizado en la máquina.
- Tipo de mantenimiento: si el trabajo realizado es correctivo o preventivo.
- Materiales utilizados: son los repuestos y materiales (grasa, aceite, limpiador, wipe, entre otros.) que fueron utilizados para la reparación.

Ambas fichas han sido elaboradas con el fin de recopilar información que en la actualidad no está disponible ni detalla, para posteriormente pueda ayudar a tomar decisiones respecto de la maquinaria, cuyas fallas se presenten con frecuencia considerable, y ayuda a realizar un análisis más detallado con la finalidad de encontrar una solución de raíz si fuera posible.

4.2. Seguridad industrial

Debido al riesgo, cualquier incidente que se presente, se deberá poner en conocimiento de la persona responsable, no recurriendo en ningún momento a realizar una reparación por parte de una persona, sin autorización ni conocimiento. Para llevar a cabo dichas tareas deben de considerarse algunos aspectos a tomar en cuenta.

Para realizar trabajos debe de disponerse de un regulador de presión, se comprobará que está en el valor óptimo, desde el punto de vista de la seguridad y eficacia del equipo. Se comprobará el buen estado de la herramienta, de la manguera y sus conexiones, además de verificar que la longitud de la manguera es suficiente y adecuada.

La alimentación de aire comprimido deberá ser cortada rápidamente en caso de emergencia. No se debe de doblar la manguera para cortar el suministro de aire, puede dañar la manguera y esta ser propensa a fugas o roturas inesperadas que puedan poner el riesgo al operario o técnico.

Si se hace necesario emplear mangueras que deban descansar en el suelo, se deberá eliminar la posibilidad que sean pisadas por cualquier equipo móvil, por ejemplo carretillas, así como también que no sean motivo de riesgo de caída para las personas.

Antes de realizar el cambio de algún accesorio, se cortará la alimentación de aire comprimido. La herramienta se ajustará a una altura adecuada al trabajador de modo que la herramienta se maneje por debajo del nivel de los codos, enfrente del cuerpo y con un apoyo adecuado en los pies. A continuación se presentan normas con el fin de disminuir accidentes:

- De ser muy necesario aplicar aire comprimido a la piel o directo a una persona que nunca sobrepase una presión de 2 bares, ya que puede causar serias lesiones. Pero se recomienda que nunca use el aire comprimido para limpiar polvo o suciedad de su cuerpo o ropa.
- Cuando utilice aire comprimido para limpieza, asegúrese de no exceder una presión de 3 bar, siempre utilice lentes de protección o máscara facial de ser necesario.
- Utilice protección auditiva. La exposición a un ruido excesivo puede dañar seriamente el sistema auditivo. Diversas clases de silenciadores pueden ser montados en las válvulas y partes de máquinas para reducir los sonidos y atenuar los riesgos a la salud.
- Nunca acople o desacople una manguera con presión de aire. Corte la presión y despresurice los sistemas antes de proceder a cualquier conexión de mangueras.
- Se debe de utilizar *fittings* o conectores rápidos solamente para manguera conectadas a puntos de servicios. No mezcle mangueras de diferente sistema de medición ejemplo: mangueras en pulgadas y conectores milimétricos o viceversa.
- Cuando se hace circular aire comprimido a una red o una manguera, asegúrese que si se encuentra un extremo abierto, éste permanecerá sujeto en forma firme y segura. Un extremo suelto puede dar un latigazo y producir un grave accidente.

- Abrir el paso de aire comprimido lentamente. Use válvulas de arranque progresivo para prevenir algún golpe de ariete en el sistema de distribución de aire.
- El sistema de distribución debe de tener seguridad y retención en la líneas que alimentan mangueras superiores a 12 mm (1/2"). Para reducir o bloquear la presión de la línea en caso de falla de una manguera o tubería.
- Cada máquina debe de poseer una válvula de corte o despresurización de forma que bloqueen con cuidado la alimentación de la máquina, mientras se realizan tareas de mantenimiento y estas no puedan habilitarse de forma accidental.
- Nunca altere o instale válvulas de alivio con presión de descarga superior a la cual ha sido diseñado el sistema y el depósito. Además debe de realizarse pruebas regulares de que estas funcionen correctamente.
- Detectar y eliminar fugas del sistema de distribución, para lograr un funcionamiento óptimo y generará ahorros operativos.

4.2.1. Medidas preventivas

La elección de las mangueras flexibles será la adecuada a la presión y temperatura del aire comprimido, así como también será adecuado el grado de resistencia de las mismas al uso que se destina. Antes de comenzar el trabajo se examinarán detenidamente desechándose la que no garanticen una absoluta seguridad. Jamás se emplearán cintas aisladoras para taponar escapes.

El acoplamiento de mangueras se usará elementos de acción rápida, para prevenir que los azotes de las mangueras dañen al personal. A continuación se presentan medidas preventivas para disminuir riesgos de lesiones:

- Antes de comenzar el trabajo:
 - Verificar el estado de los tubos flexibles, uniones o acoples de empalme.
 - Verificar la presión de aire comprimido, antes conectar cualquier herramienta o máquina.
 - Examinar los tubos flexibles: que no existan bucles, codos o dobleces que obstaculicen el paso del are.

- Durante el trabajo
 - Las mangueras de aire comprimido se deben situar de forma que no se tropiece con ellas, para impedir esto se puede implementar un sistema donde colocar las mangueras en alto
 - No usar la manguera de aire comprimido para limpiar el polvo de la ropa, se pueden producir lesiones graves en los ojos, oídos y boca. Este punto se ha detallado anteriormente.
 - Al cambiar de herramientas neumáticas siempre debe cerrarse la llave del aire de suministro.
 - Nunca se debe doblar la manguera para cortar el aire cuando se cambie la herramienta, hay que cortar la fuente de alimentación.
 - Debe ser rigurosamente prohibido el método de expulsar la herramienta con la presión del equipo neumático portátil, en lugar de quitarla con la mano.

- 3. Después de utilizarla
 - Cerrar la válvula de alimentación del circuito del aire.
 - Activar la máquina o herramienta para despresurizar el sistema.
 - Limpiar el área de trabajo.

4.2.2. Identificación de líneas de aire

Los colores de seguridad no eliminan por sí mismo los riesgos y no pueden sustituir las medidas de prevención de accidentes. Un color mal aplicado puede crear una condición de riesgo al trabajador. El color se utiliza para advertir a las personas, por lo tanto, su aplicación debe hacerse cumpliendo estrictamente con lo indicado en esta norma.

La identificación es una parte importante del mantenimiento. Según la norma UNE 1063 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado UNE 48 103. La aplicación de colores tiene como objetivo:

- Identificar y advertir peligros.
- Identificar equipos y materiales.
- Marcar superficies de trabajo y áreas de tránsito.
- Identificar y localizar equipos de emergencia

Para identificar las tuberías se utiliza un color, el cual debe identificar las propiedades características del contenido. Además se colocan las leyendas o marcas adicionales para mayor seguridad. En la tabla XXVIII se muestra el color de identificación de las tuberías, de sus sistemas y el contenido de los materiales que estos puedan transportar.

Tabla XXVIII. **color de identificación de las tuberías**

Clasificación	Color de fondo	Color de letras
Materiales de alto peligro inherente		
Líquidos o gases radioactivos	Amarrillo Purpura	Negro Amarillo
Materiales bajo peligro inherente		
Líquidos Gases	Verde Azul	Blanco Blanco
Materiales de protección y combate de incendio		
Agua, espuma, CO2, etc.	Rojo	Blanco

Fuente: Inga. CUXIL GARCÍA, Nancy Paola. *Mantenimiento y factores de seguridad industrial en redes de aire comprimido*. p. 139.

Para permitir una mejor identificación del contenido de la tubería, se utiliza una leyenda o texto, el cual debe contener el nombre del producto, en forma completa o abreviada, pero fácil de comprender (agua caliente, ácido, aire, entre otros).

El texto o leyenda que identifica debe decir exactamente el contenido del fluido que se transporta en la tubería también la temperatura, la presión y otras características importantes de las tuberías, especialmente en los materiales de alto peligro inherente.

La leyenda debe ser breve, informativa, puntual y simple para lograr mayor efectividad y debe colocarse cerca de las válvulas y adyacentes a los cambios de dirección, derivaciones y donde las tuberías atraviesen paredes o suelos y a intervalos frecuentes en tramos rectos. Se debe utilizar los suficientes con el fin de identificarlos claramente. Se deben usar mayúsculas de tipo corriente, del tamaño indicado en la tabla XIX:

Tabla XXIX. **Tamaño de letras de identificación de tuberías**

Diámetro exterior de la tubería. En pulgadas	Largo mínimo del color de fondo	Tamaño de las letras (mm)
Hasta 32	200	15
De 33 a 50	200	20
De 51 a 150	300	30
De 151 a 250	600	60
Sobre 250	800	90

Fuente: Inga. CUXIL GARCÍA, Nancy Paola. *Mantenimiento y factores de seguridad industrial en redes de aire comprimido*. p. 139.

Marcas adicionales: conviene utilizar flechas para indicar la dirección del flujo, la identificación puede facilitarse mediante el uso de otras marcas o cintas.. En general se pueden colocar tantas marcas adicionales como sea necesario en cada caso particular, siempre que esto no provoque confusión.

Visibilidad: debe prestarse atención a la visibilidad respecto de las leyendas y marcas en las tuberías. Cuando las tuberías están localizadas sobre la línea de visión normal. La lectura debe ubicarse bajo la tubería. Se debe obtener el máximo contraste entre el color de fondo y la leyenda.

4.2.3. Equipo de protección personal

Exigir la utilización de prendas de protección personal cuando sea necesario. Se debe de disponer en los lugares de trabajo de normas adecuadas para su realización de trabajos operacionales o técnicos, según sea su uso o riesgo. Siempre recordar que antes de realizar o iniciar los trabajos con una herramienta neumática. Comprobar si la presión de la línea, o del compresor, es compatible con los elementos o herramienta que se va a utilizar.

- Siempre que se trabaje con herramientas neumáticas se deben usar gafas, guantes, calzado de seguridad y protección para los oídos.
- Usar siempre equipo de protección individual para realizar una actividad de limpieza utilizando aire comprimido, debido a que pueden volar partículas a los ojos por este motivo es necesario utilizar gafas de seguridad.
- Es necesario utilizar mascarillas cuando se esté realizando una actividad de limpieza o cuando se estén utilizando sopletes para trabajos de pintura, pues el polvo o partículas del químico de las pinturas utilizadas puede ocasionar problemas respiratorios.

- Cuando se realice actividades de trabajo cerca del área del compresor se deben utilizar tapones para oídos, los cuales disminuyen los decibeles de ruido. También pueden disminuir el riesgo de lesiones si por algún motivo el flujo de aire comprimido llegue a cavidades como lo son oídos.
- Para realizar operaciones con herramientas neumáticas o trabajos en las tuberías de aire comprimido, es necesario que estos tengan además de la protección necesarios, sean maniobrables, es decir, que no sean muy rígidos o afecten la maniobrabilidad de las operaciones que se estén realizando.

CONCLUSIONES

1. La recopilación de información para llevar a cabo el diagnóstico no es una tarea sencilla, debido a que la empresa no contaba con información o manuales técnicos de la maquinaria o información del fabricante. Para realizar el nuevo diseño, como primer paso se observó el diseño actual, recopilando información se determinó la producción y demanda de aire comprimido empleada por la maquinaria de la empresa, se diagnosticó mediante cálculos matemáticos y un software de licencia gratuita provisto por FESTO, facilitando la investigación. Durante el estudio se determinó la eficiencia actual del sistema de distribución el cual presenta pérdidas significativas.
2. Para el diseño del sistema de distribución de red, se determinaron los accesorios necesarios, según la calidad de aire y las necesidades de la empresa. También otros aspectos de la red como lo son: el tipo de tubería, selección de compresor y costos del proyecto. Mediante los cálculos matemáticos, se determinó que una buena eficiencia en el transporte del aire se obtiene utilizando un diámetro de 1 ½" para la tubería principal y de 1 ¼" para la tubería secundaria, dando como resultado una pérdida de presión inferior al 3 %.
3. La correcta operación del compresor y de las herramientas neumáticas por parte del personal técnico y de operación, hará que se mantenga la vida útil establecida en la herramienta, disminuyendo los paros inesperados.

4. Es importante conocer los diferentes tipos de compresores existentes y sus cualidades, ya que esto ayudará a la selección final del equipo que será instalado.

RECOMENDACIONES

1. A la gerencia de mantenimiento mantener el compresor actual, si bien se encuentra sobre dimensionado un 15 %, es ideal para futuras ampliaciones.
2. Instalar purgadores a lo largo del sistema de tubería o tuberías de drenaje de condesados para evitar contaminación del aire y corrosión de la tubería.
3. Montar otro compresor que supla las necesidades mínimas de la empresa por cualquier inconveniente o falla eventual del compresor principal. Este debe de incluir un sistema de tubería *bypass* para hacer cambio de compresor o que actúe como una línea de respaldo, permitiendo aislar el equipo dañado durante la reparación o su reemplazo.
4. A los supervisores de área, Realizar evaluaciones y diagnósticos del lugar asignado de trabajo, reportando cualquier anomalía en la red de aire comprimido al responsable para disminuir paros inesperados y riesgo de posibles accidentes.

5. A personal de mantenimiento, Estar pendientes y seguir las normas de trabajo expuestas anteriormente e implementar las bitácoras en cada máquina, para llevar un mejor control y tener información esencial de ellas cuando se requiera en un futuro. Lo cual facilitara estudios o trabajos posteriores.

6. A los operarios, Reportar cualquier fuga que hay identificado. Garantizado la integridad de la red de distribución para evitar o disminuir daños mayores a la red de aire comprimido.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER ROYO, Enrique. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona, España: Ed. Gustavo Gili S.A., 1977. 233 p.
2. CASSANI, Marcelo. *Reglas de seguridad en uso de aire comprimido*. [en línea]. <<https://marcelocassani.wordpress.com/2010/03/31/reglas-de-seguridad-en-uso-de-aire-comprimido/>>. [Consulta: 29 de agosto de 2018].
3. CUXIL GARCÍA, Nancy Paola. *Mantenimiento y factores de seguridad industrial en redes de aire comprimido*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 178 p.
4. Departamento de Ingeniería Kaeser. *Guía de instalación de sistemas de aire comprimido*. [en línea]. <[http://us.kaeser.com / m/Images/Gu%C3%ADa%20de%20instalaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20aire%20comprimido-tcm266-747662.pdf](http://us.kaeser.com/m/Images/Gu%C3%ADa%20de%20instalaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20aire%20comprimido-tcm266-747662.pdf)>. [Consulta: 14 de septiembre de 2018].
5. _____. *Técnica de aire comprimido fundamentos y consejos prácticos*. [en línea]. <<http://ar.kaeser.com/m/Images/P-2010-AR-tcm322-6752.pdf>>. [Consulta: 29 de agosto de 2018].

6. DOMINIC, Olivia. *Seguridad y buen uso del aire comprimido*. [en línea]. <https://prezi.com/zgn5rcf_voz8/medidas-de-seguridad-en-el-uso-y-manejo-de-aire-comprimido/>. [Consulta: 29 de agosto de 2018].
3. PÉREZ, Carlos Humberto. *Manual Laboratorio Neumático*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 111 p.
7. RODRÍGUEZ GUTIERREZ, Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática en la empresa Turboservicios de C.A.* Trabajo de graduación Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 105 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ficha técnica para mantenimiento



EURO CALZADO, S.A.
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.
FICHA TECNICA DE MAQUINARIA.

DATOS DE MAQUINARIA.			
Nombre:		Fabricante:	
Modelo:		Serie:	
Código:		Otros:	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.			
Voltaje:		Lubricante:	
Amperaje:		CFM/ Presión de trabajo:	
Kw:		Otros:	

Observaciones: -----

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Bitácora de mantenimiento**



EURO CALZADO, S.A.
 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.
 BITÁCORA DE MANTENIMIENTO.

Datos de máquina.			
Nombre de máquina:		Código:	
Ubicación:		Otros:	

No.	Fecha	Descripción de la actividad	tipo de mantenimiento	Repuesto	Técnico o profesional	Responsable (Recibe)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Observaciones: _____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos para cálculo de caudal obtenidos de investigación de campo**

Núm	Maquina	simple (1) /doble(2)	Carrera	Diámetro embolo	Presión	Presión en bar	Ciclos/min	Consumo L/min	CFM
1	Reactivador	2	10	6,4	3 bar	3	12	28,41	1,00
2	Premoldeador de Corte 1	2	3,8	85	⁴ kg/cm ²	4	4	4,6	0,16
3	Premoldeador de Corte 2	2	5	5,5	5 bar	6	4	7,1	0,25
4	Horno Master Mecsul	2	14,5	4	7 bar	7	4	10,72	0,38
5	Horno frio Mecsul	2	11	5	6 bar	6	4	11,12	0,39
6	Montadora de lados	2	1,5	4	0.7 Mpa	6	8	2,22	0,08
7	Vaporizador de puntas	2	4	5	6 bar	6	3	6,06	0,21
8	Premoldeadora de puntas	2	7	15	100 Psi	7	2	87,26	3,08
9	punteras ½	2	6,5	5.5	100 Psi	7	5	9,39	0,33
10	punteras 2/2	2	0,7	5.7	100 Psi	7	5	2,98	0,11
11	Foliadora	2	3,5	4	80 Psi	6	10	5,66	0,20

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Cotización de tubería y accesorios



FERRETERIA PETAPA, S.A.

NIT: 1277763-3
INDUSTRIA

Ave. Petapa 19-7L, Zona 12 Guatemala, Guatemala

Teléfono: 2386-8181 Fax: 2386-8115

ventas@ferreteriapetapa.com

Para: EURO CALZADO, S.A.
De: Moshador

Atención A:
Referencia:

Fecha: 25/05/2018
Nit:

Teléfono:
Proforma: 9070577

Código	Cantidad	Descripción	Precio	Total
9THGM12	10	TUBO HG MEDIANO 1 1/2 CON ROSCA Y COPLA	293.201	2.932.01
9THGM14	29	TUBO HG MEDIANO 1 1/4 CON ROSCA Y COPLA	261.850357	7.331.81
9THGM12	18	TUBO HG MEDIANO 1/2 CON ROSCA Y COPLA	109.30	1.967.46
9THGM24	18	TUBO HG MEDIANO 3/4 CON ROSCA Y COPLA	134.25	2.416.50
9VG112	6	MUELTA GALV. 1 1/2"	93.366667	560.20
9TM112	1	TEE GALV. 1 1/2 C/UNSA	44.20	44.20
17VCE112	1	VALVULA DE COMPUERTA ESPAÑOLA DE 1 1/2 PN-16 SELLO METALICO	83.50	83.50
17VBS112	1	VALVULA DE BOLA ESPAÑOLA 1 1/2" SERA	127.20	127.20
9VG114	11	MUELTA GALV. 1 1/4"	71.630906	787.94
9TM114	4	TEE GALV. 1 1/4 C/UNSA	35.00	140.00
17GBA14	2	VALVULA DE BOLA ESPAÑOLA 1 1/4 ARCO	156.00	312.00
9RNTD14	2	RED. BUSHING GALV. 1 1/2" x 1 1/4 C/UNSA	20.80	41.20
9TM12	41	TEE GALV. 1/2 C/UNSA	7.40	303.40
17VBA12	41	VALVULA DE BOLA ESPAÑOLA 1/2 ARCO	40.00	1.640.00
9CRM12	41	COPLA GALV. CON REBORDE 1/2 C/UNSA	5.90	241.90
9TM12	41	TEE GALV. 1/2 C/UNSA	7.40	303.40

Diecinueve mil doscientos treinta y dos con Sesenta y cinco Centavos


Total

19,232.65




VICENCIA DE LA PRESENTE COTIZACION 6 DIAS
PRECIOS SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO.
PARA PAGO CON CHEQUE FAVOR ESCRIBIRLO A NOMBRE DE: FERRETERIA PETAPA, S.A.

Fuente: Ferreteria Petapa.

Anexo 2. **Cotización de elementos de preparación del aire comprimido**



OLZTAD, S.A.
 Olmstead Compresores
 Calzada Aguilar Batres 43-27
 zona 12, Guatemala
 Tel: 2490 5959 / Fax: 24773120

Para: Eurosuelas COTIZACIÓN NO. 31055
 Atención: Ing. Mynor Sanchinelli
 Teléfono: 56925793 Fecha: 9 / 2 /2018
 Correo: msanchinelli@eurosuelas.com

Elementos de filtros de línea y drenadores

Cant.	Descripción	Precio Uni	Precio Total
1	Elemento de filtro de partículas	Q 2,872.00	Q 2,872.00
1	Elemento de filtro de partículas	Q 2,872.00	Q 2,872.00
2	Drenador automatico de condensado tipo flote para filtro	Q 1,100.00	Q 2,200.00
		Total	Q 7,944.00

- Notas:**
- Precios incluyen IVA
 - Tiempo de entrega: inmediato. Sujeto a existencias.
 - Incluye entrega en sus instalaciones.
 - Forma de pago: contado.
 - Propuesta válida por 15 días.
 - Estamos sujetos al régimen de retención definitiva.

Estuardo Olmstead
 Cel: 54827901 - Correo: estuardo@olmsteadcompresores.com

Fuente: Olmstead Compresores.

Anexo 3. Cotización para mantenimiento de compresor


OLZTAD, S.A.
 Olmstead Compresores
 Calzada Aguilar Batres 43-27
 zona 12, Guatemala
 Tel: 2490 5959 / Fax: 24773120


Quincy COMPRESSORS

CAMPBELL HAUSFELD.
The Air Power Expert.

KAISHAN TECHNOLOGIES
 ENGINEERING THE FUTURE

Para: Eurosuelas
Atención: Ing. Mynor Sanchinelli
Teléfono: 56925793
Correo: msanchinelli@eurosuelas.com

COTIZACIÓN NO. 31239

Fecha: 19 / 3 /2018

Servicio mayor a compresor Quincy

Cant.	Descripción	Precio Uni	Precio Total
1	Elemento de filtro de aire	Q 425.00	Q 425.00
1	Elemento de filtro de aceite	Q 925.00	Q 925.00
1	Elemento separador	Q 3,045.00	Q 3,045.00
1	Kit de fajas	Q 750.00	Q 750.00
1	Horómetro (*)	Q 625.00	Q 625.00
1	Mano de obra	Q 2,500.00	Q 2,500.00
Estamos sujetos al régimen de retención definitiva.			
		Total	Q 8,270.00

Notas:

- (*) Se incluye instalación del horómetro suponiendo que se encuentran disponibles todas las conexiones necesarias. Si se debe hacer un cambio, adaptación o instalar nuevas piezas o cables, se cotizará por aparte.
- Precios incluyen IVA.
- Cualquier inconveniente adicional será cotizado por aparte.
- Tiempo de entrega: 2-5 días después de la confirmación del servicio.
- Forma de pago: crédito 30 días.
- Incluye entrega en sus instalaciones.
- Propuesta válida por 30 días.

Estuardo Olmstead
 Cel: 54827901 - Correo: estuardo@olmsteadcompresores.com

Fuente: Olmstead Compresores.

