



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

**PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA
PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

Ricardo Ayala Quirán

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA
PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RICARDO AYALA QUIRÁN

ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avedaño
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:

PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 8 de octubre del 2018.



Ricardo Ayala Quirán



FACULTAD DE INGENIERÍA

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

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que habiendo asesorado al estudiante **Ricardo Ayala Quirán** con registro académico **2012 12629** y CUI **2337 84381 0101**, de la carrera ingeniería mecánica, tuve el bien revisar el trabajo de Graduación con el tema: **“PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL”**, el cual a mi criterio cumple con los requerimientos de un trabajo de esta índole.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Asesor de trabajo de graduación

Colegiado 5,641

Ing. Byron G. Palacios C.
Colegiado No. 5641



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.236.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**, presentado por el estudiante **Ricardo Ayala Quirán**, CUI **2337843810101** y Reg. Académico No. **201212629** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

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



Guatemala, octubre G 2019



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.290.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Asesor y del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**, presentado por el estudiante **Ricardo Ayala Quirán**, CUI **2337843810101**, Reg. Académico No. **201212629** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2019

/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189102 - 24189103

DTG. 571.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Ricardo Ayala Quirán**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, noviembre de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por haberme brindado siempre las fuerzas y sabiduría necesaria para lograr esta tan esperada meta y el apoyo incondicional de todas las personas que puso en mi camino para que me guiaran y ayudaran.

Mi madre

Evita Quirán, porque Dios me permitió tenerla en mi vida como madre, por haberme guiado a lo largo de mi vida, por haberme siempre motivado a alcanzar todo lo que me he propuesto. Mami, prometo hacerte sentir orgullosa cada día de mi vida como muestra de mi infinito amor hacia ti.

Mi padre

Antonio Quirán, por siempre sostenerme de su mano, por su ejemplo, sus enseñanzas, su apoyo incondicional y por siempre guiarme al camino hacia la excelencia.

Mi esposa

Laura Palma, por llegar a mi vida y hacerme sentir muy amado y especial para ella, por todo su apoyo, por cada logro que hemos ido alcanzando juntos y por tantas cosas que están por llegar, te amo muchísimo.

Mi hija

Lauren Ayala, por llegar a mi vida, por motivarme con simplemente verte, cumplir mis metas, no rendirme nunca y ser mejor cada día, espero siempre ser el mejor ejemplo y aquí estaré siempre para ti.

Mi hermana

Rebeca Ayala, por el apoyo incondicional que siempre he tenido por parte de ella, y por motivarme a ser mejor cada día, eres muy especial para mí.

Mi abuela

Catalina Quirán, por el apoyo, amor y por todos los consejos que me ha dado que me han ayudado para formarme, este logro también es tuyo, te amo abue.

Mis tías

Liz, Magda y Letty Quirán, por su apoyo incondicional, amor, por siempre estar para mí y el buen ejemplo que me han dado a lo largo de mi vida, gracias.

Mis tíos

Eric Nicholson y Hugo Quirán, por su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida.

Familia

López Quirán, por su apoyo gracias.

Mis amigos

A todos, gracias, por los años que me han brindado su confianza, consejos y amistad. Cada uno es especial en mi vida.

Mis catedráticos

Por compartir sus conocimientos y formar parte de mi vida profesional.

**Mis compañeros
de trabajo**

Por brindarme su apoyo y conocimientos en mi etapa laboral.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser fuente de conocimiento y formar profesionales por más de trecientos años.
Facultad de Ingeniería	Por forjar mis conocimientos profesionales.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por permitirme la realización de mi trabajo de graduación.
Ing. Byron Palacios	Por su orientación y apoyo en la elaboración de este trabajo de graduación.
Profesorado en general	Por compartir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
FIGURAS.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Red de aire comprimido.....	1
1.2. Generación de aire comprimido.....	1
1.3. Tipos de compresores.....	2
1.3.1. Compresores reciprocantes.....	3
1.3.2. Compresores rotativos.....	3
1.4. Ventajas de aire comprimido.....	4
1.5. Desventajas del aire comprimido.....	5
1.6. Fundamentos físicos del aire.....	6
1.6.1. Aire.....	6
1.6.2. Peso específico.....	6
1.6.3. Volumen específico.....	6
1.6.4. Temperatura absoluta.....	7
1.6.5. Presión.....	7
1.6.6. Presión atmosférica.....	7
1.6.7. Presión absoluta y relativa.....	7
1.6.8. Caudal.....	8

1.6.9.	Temperatura.....	8
1.6.10.	Calor.....	9
1.6.11.	Altitud	9
1.7.	Unidades de medida	9
1.7.1.	Unidades de presión	10
1.7.2.	Unidades de caudal.....	10
1.8.	Tuberías.....	11
1.9.	Accesorios.....	12
1.10.	Unidad de mantenimiento	14
1.10.1.	Condensador de humedad	14
1.10.1.1.	Filtro de aire	15
1.10.1.2.	Válvula reguladora de presión.....	17
1.10.1.3.	Manómetro	17
1.10.2.	Mantenimiento.....	18
2.	DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL	23
2.1.	Planos y áreas de la instalación de la planta	23
2.2.	Equipo y maquinaria.....	26
2.2.1.	Información de la sala de compresores.....	26
2.2.1.1.	Compresores.....	26
2.2.1.2.	Secador	28
2.2.2.	Distribución de cuarto de compresores	29
2.3.	Componentes actuales del sistema de aire comprimido	31
3.	PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO	33
3.1.	Consideraciones previas	33
3.1.1.	Consumo específico	33
3.1.2.	Coeficiente de utilización.....	33
3.1.3.	Coeficiente de simultaneidad	34

3.1.4.	Capacidad de los compresores	35
3.1.5.	Número de compresores	36
3.2.	Cálculo de cargas en el edificio de planta	36
3.3.	Selección del equipo de aire comprimido	40
3.3.1.	Pérdida de presión = pérdida de potencia	41
3.3.2.	Pérdidas de aire admisibles por fugas.....	45
3.3.3.	Parámetros	46
3.4.	Tuberías	47
3.4.1.	Tubería principal.....	49
3.4.2.	Tubería secundaria.....	49
3.4.3.	Tuberías de servicio	50
3.5.	Cálculo de tuberías.....	51
3.6.	Determinación del diámetro más económico de la tubería	52
3.7.	Configuración de una red de aire comprimido	54
3.8.	Mantenimiento de la red de aire comprimido.....	57
3.8.1.	Revisión de la red de aire comprimido.....	57
3.8.2.	Examen económico de la pérdida de presión	60
3.8.3.	Estudio económico de la pérdida de aire por fugas.....	62
3.8.4.	Operación y mantenimiento de accesorios.....	65
3.8.5.	Tanques de almacenamiento.....	67
3.8.6.	Unidades de mantenimiento	67
3.8.7.	Preparación y tratamiento del aire	68
3.8.8.	Impurezas.....	69
3.8.9.	Tratamiento de la humedad.....	70
3.8.10.	Mantenimiento de tuberías	71
3.8.11.	Mantenimiento de válvulas y accesorios	72
3.8.12.	Medidas de seguridad	74

4.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA	77
4.1.	Formato de encuesta de opiniones	77
4.1.1.	Metodología.....	79
4.1.2.	Criterios de inclusión	80
4.1.3.	Criterios de exclusión	80
4.1.4.	Población.....	80
4.1.5.	Muestra	80
4.1.6.	Recursos	81
4.1.7.	Procedimiento	81
4.1.8.	Análisis estadístico.....	82
4.2.	Impacto y resultados de la encuesta	82
4.2.1.	Impacto y resultado de la encuesta 1	82
4.2.2.	Impacto y resultado de la encuesta 2	87
4.2.3.	Discusión de resultados	93
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99
	APÉNDICES.....	101
	ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de compresores.....	2
2.	Filtros para compresores.....	16
3.	Metodología para dibujar la red de aire comprimido	23
4.	Distribución de la planta	25
5.	Distribución de cuarto de compresores dibujado	30
6.	Cuarto de compresores.....	31
7.	Tramo de red con pérdidas de presión.....	42
8.	Curva de rendimiento en función de la presión	44
9.	Identificación de tuberías de aire comprimido en la planta.....	48
10.	Línea secundaria con inclinación	50
11.	Red de aire comprimido y accesorios	51
12.	Red abierta.....	55
13.	Red cerrada	55
14.	Red mixta.....	56
15.	Ejemplo de un tramo de tubería abandonado	58
16.	Recorrido del aire comprimido hasta el punto de consumo.....	69
17.	Distintas impurezas en una red de aire comprimido (polvo, agua y aceite)	70
18.	Encuesta realizada a estudiantes	78
19.	Encuesta 2 realizada a usuarios de la red	79
20.	Un cambio en soldadura en uniones y de accesorios de calidad eliminaría las fugas de aire en la red, respuestas pregunta núm. 1	83

21.	La participación de los usuarios en el mantenimiento de la red de aire comprimido ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones de la operación, respuestas pregunta núm. 2.....	84
22.	Tiempo necesario considerado para realizar mantenimiento a la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 3.....	85
23.	Cantidad adecuada de tomas de aire y presión necesaria para conectar herramientas y realizar su trabajo, respuestas pregunta núm. 4.....	86
24.	Se considera en óptimo funcionamiento la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 5	87
25.	Considera que el rediseño de la red de tuberías que transportan aire comprimido ayudaría a hacer más fácil su trabajo, respuestas pregunta núm. 1.....	88
26.	Llevar a cabo esta propuesta disminuiría los paros en producción por fallas en la misma, respuestas pregunta núm. 2.....	89
27.	Cree usted que se le da el uso idóneo a la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 3	90
28.	Considera que es importante un ahorro energético asociado a una red de aire comprimido más eficiente, respuestas pregunta núm. 4.....	91
29.	Considera que el costo de mantenimiento del equipo que conforma la red de aire disminuiría con la implementación de esta propuesta, respuestas pregunta núm. 5	92

TABLAS

I.	Información técnica del compresor 1	27
II.	Información técnica del compresor 2	27
III.	Información técnica del compresor 3	28
IV.	Información técnica del secador	29

V.	Componentes actuales del sistema de aire comprimido	32
VI.	Coeficiente de utilización.....	34
VII.	Coeficiente de simultaneidad	34
VIII.	Requerimientos de herramienta neumática para una línea de producción.....	37
IX.	Requerimientos de herramienta neumática total para el edificio de planta	38
X.	Totalidad de consumo de aire comprimido en el edificio de planta	39
XI.	Totalidad de consumo de aire comprimido en el edificio de planta	40
XII.	Pérdida de presión de algunos dispositivos	43
XIII.	Diámetros y longitudes de tubería total de la red de aire comprimido en el edificio de planta.....	52
XIV.	Energía necesaria para compensar fugas.....	63
XV.	Características y prestaciones de materiales para tuberías.....	72
XVI.	Características y prestaciones de materiales para tuberías.....	73
XVII.	Un cambio en soldadura en uniones y de accesorios de calidad eliminarían las fugas de aire en la red.....	82
XVIII.	La participación de los usuarios en el mantenimiento de la red de aire comprimido ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones de la operación.....	83
XIX.	Tiempo necesario considerado para realizar mantenimiento a la red de aire comprimido.....	84
XX.	Cantidad adecuada de tomas de aire y presión necesaria para conectar herramientas y realizar su trabajo	85
XXI.	Se considera en óptimo funcionamiento la red de aire comprimido	86
XXII.	Considera que el rediseño de la red de tuberías que transportan aire comprimido ayudaría a hacer más fácil su trabajo	88
XXIII.	Llevar a cabo esta propuesta disminuiría los paros en producción por fallas en la misma.....	89

XXIV.	Cree usted que se le da el uso idóneo a la red de aire comprimido	90
XXV.	Considera que es importante un ahorro energético asociado a una red de aire comprimido más eficiente	91
XXVI.	Considera que el costo de mantenimiento del equipo que conforma la red de aire disminuiría con la implementación de esta propuesta	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
atm	Atmósfera
bar	bares
Q	Caudal
q	Caudal de aire suministrado por el compresor
cm	Centímetros
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
HP	<i>Horse Power</i> , Caballos de fuerza
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
Kg/s	Kilogramo por segundo
kWh	Kilowatts hora
l/min	Litros por minuto
m/s	Metros por segundo
m ³ /min	Metros cúbicos por minuto
N/m ²	Newton por metro cuadrado
P	Presión
t	Tiempo
%	Porcentaje
“	Pulgada

GLOSARIO

Aire	Gas insípido, incoloro e inodoro que está compuesto principalmente de dos gases: nitrógeno 78,3 % y oxígeno 20,99 %; además contiene en pequeñas cantidades bióxido de carbono 0,003 %, argón 0,94 %, hidrógeno 0,01 %, neón, helio, kriptón y xenón.
Caudal	Se puede definir como la cantidad de fluido que pasa por una determinada sección de un conducto por unidad de tiempo.
Compresor	Es una máquina, cuyo trabajo consiste en incrementar la presión de un fluido impulsándolo con una presión superior a la de entrada.
Consumo específico	Se le llama consumo específico al consumo del fluido para el uso de una herramienta o equipo que define el fabricante para que opere.
Filtro	Es el encargado de mantener la red de aire con la más mínima cantidad de partículas extrañas como agua, aceite, polvos, partículas sólidas, olores, vapores, entre otros.

Fluido	Sustancia capaz de fluir que se adapta a la forma de los recipientes que las contienen, todos los fluidos son incompresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.
Mantenimiento	Circunstancia de mantener un equipo en un estado particular o condición de operación.
Presión	Es la fuerza aplicada por unidad de superficie, es el coeficiente entre la fuerza y la superficie que recibe
Rivnutera	Pistola neumática para colocar tuercas remachables.
Secador	Dispositivo encargado de eliminar la humedad del aire enfriándolo con un refrigerante, logrando que el vapor de agua se condense formando agua líquida y el aire se pueda comprimir.
Tuberías	Conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio.
Volumen	Dimensión de un cuerpo o espacio ocupado por un cuerpo, está dado en mm^3 , cm^3 y m^3 .
Wima	Molde exterior hecho de metal y madera que posee dos paredes móviles con cilindros neumáticos para espumar equipos aislados con espuma rígida de poliuretano.

RESUMEN

En esta tesis se establece una propuesta eficiente para una red de aire comprimido en una planta de equipos de refrigeración comercial ubicada en la ciudad de Guatemala, partiendo del levantamiento y recopilación de información de la red, dibujando el plano de distribución de la red de aire comprimido a través de la planta, describiendo componentes que la conforman y su funcionamiento.

También se consideran aspectos básicos como conceptos y metodologías que conducen a poder realizar la propuesta logrando evaluar capacidades de compresores, cálculos de cargas en el edificio, determinación del diámetro más económico de la tubería, examen económico por pérdida de presión y fugas, entre otros.

Se presenta una guía para realizar mantenimiento preventivo a las unidades y accesorios de la red de aire y, por último, se evalúa por medio de encuestas a los usuarios para conocer el impacto e interés de los mismos por la propuesta y percepciones de la red, para que estas opiniones se tomen en cuenta y ayuden a la mejora continua de la red de aire comprimido, para que quede a disposición a quién interese, la implementación de la propuesta en la planta de equipos de refrigeración comercial.

OBJETIVOS

General

Proponer una red eficiente de aire comprimido para una planta de refrigeración comercial.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico de distribución, situación y componentes que la conforman actualmente.
2. Realizar las investigaciones correspondientes para obtener la base teórica para una red de aire comprimido.
3. Ejecutar el proceso de la propuesta. Incluyendo la selección de componentes comerciales necesarios, cálculos de diseño, y detalles de la nueva propuesta.
4. Evaluar la propuesta de una red eficiente de aire comprimido por medio de encuestas de opinión.

INTRODUCCIÓN

La propuesta que se presenta está dirigida a una empresa manufacturera privada formada para la fabricación y comercialización de equipos de refrigeración comercial. Sus instalaciones están ubicadas en una zona industrial de la ciudad de Guatemala.

Actualmente, la planta principal cuenta con 5 líneas de producción de equipos de refrigeración, ya que se encuentran en continuo crecimiento por el incremento de la competencia en el mercado. Por ello, sus instalaciones deben innovarse. El aire comprimido es una fuente de energía que aprovechan para realizar rápida y eficientemente las operaciones en el proceso de producción, como atornilladores, remachadores, taladros, lijadoras, roscadoras, entre otros. Por ello, este proyecto se propone mejorar el sistema de distribución de aire comprimido de la empresa, reducir gastos de energía y disminuir costos.

Se presenta la información de la situación actual, localización e identificación del proceso, puntos de consumo, suministro y redes de distribución de aire comprimido; requerimientos de presión, caudal, calidad y la demanda de estos parámetros. Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos para determinar la capacidad real actual y la demanda. Se presenta el cálculo para dimensionar la propuesta de red de distribución de aire comprimido y se hizo el trazado de la trayectoria del circuito tomando en cuenta puntos de vista técnicos y económicos y con esto proporcionar una mejora a la red de aire comprimido.

1. MARCO TEÓRICO

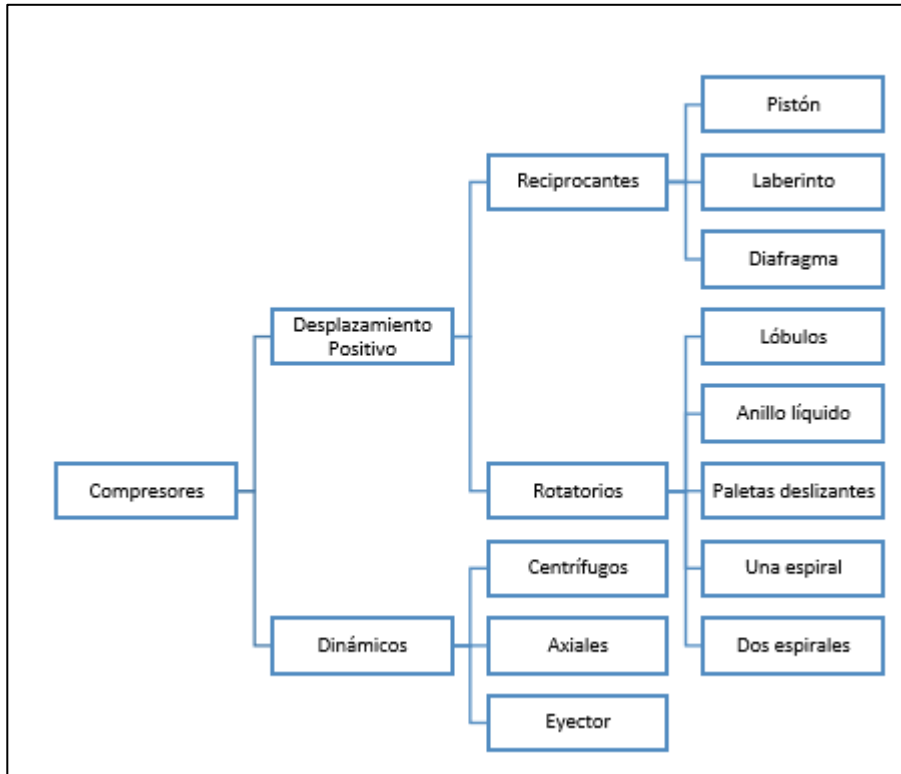
1.1. Red de aire comprimido

Una red de aire comprimido es una extensión de tuberías por las cuales se hace circular el aire comprimido para que, posteriormente, se utilice para accionar máquinas, herramientas o para el proceso de producción de un producto. Dicha red está constituida por diferentes equipos, accesorios y componentes como compresor, tanque, secador, filtros, tuberías, válvulas y las máquinas que se deseen accionar con el aire comprimido.

1.2. Generación de aire comprimido

El aire comprimido se genera en máquinas llamadas compresores, capaces de transmitir energía al aire atmosférico disminuyendo su volumen. Los compresores se pueden diferenciar por el número de etapas, geometría, partes en movimiento, o hasta lubricación, pero se resumen en dos partes: de desplazamientos positivos y dinámicos. Esta clasificación viene dada por la manera como entregan energía al fluido, y como llegan a las presiones e trabajo. En la figura 1 se muestra la clasificación de los compresores utilizados actualmente.

Figura 1. Tipos de compresores



Fuente: URBINA BLANCO, Cesar. *Diseño de una red de aire comprimido para la planta de procesamiento de algodón*. p. 22.

1.3. Tipos de compresores

Actualmente, se cuenta con una gama de compresores para la compresión de aire y otros gases y, como se mostró en la imagen anterior, se separan en dos grandes grupos según su funcionamiento. Los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos o rotativos. A continuación, se presentan algunos de los más comunes, actualmente.

1.3.1. Compresores reciprocantes

En este tipo de compresor, el aire cambia de volumen en una cámara que modifica su geometría, lo cual genera fricción y calor que debe ser disipado con lubricantes, por lo cual existen una variedad de compresores de esta clase, como los compresores de pistón simple o doble y los de paleta. Los compresores de pistones son muy comunes y usados para altos niveles de presión; sin embargo, cuando se debe agregar energía, se genera un problema debido a su movimiento de biela-manivela. En virtud de que expulsa el aire por pulsos, puede no ser eficiente si requiere un caudal constante. Como consecuencia, se debe instalar un tanque de expansión para contrarrestar este aspecto. Por otro lado, los compresores de paleta no tienen este problema y podrían usarse sin tanque de expansión, lo que representa una ventaja significativa cuando se evalúa todo el sistema de aire comprimido para una instalación.

1.3.2. Compresores rotativos

Estos compresores generan el aire comprimido mediante un sistema giratorio, desde la entrada del compresor hasta su descarga. Tienen una descarga continua, lo cual es importante en algunas aplicaciones.

- Compresores de paletas: en él se tiene el rotor excéntrico a la carcasa del equipo y posee paletas que se mueven al extremo de la carcasa por la fuerza centrífuga para crear el paquete.
- Compresores tipo *roots*: este tipo de compresor tiene un rotor elíptico y una rueda de paletas giratorias.

- Compresores de tornillo: se conforman, principalmente, de dos rotores con lóbulos helicoidales de engrane constante. Se pueden tener de un solo eje o doble eje.

1.4. Ventajas de aire comprimido

A continuación, se menciona una lista de ventajas que presenta la utilización del aire comprimido.

- Abundante: es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa conductos de retorno. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- Almacenaje: almacenado y comprimido en acumuladores o depósitos, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.
- Antideflagrante: es a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispa en atmósferas explosivas. Puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.
- Temperatura: es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- Limpieza: cuando se producen escapes no es perjudicial y pueden colocarse en las líneas, depuradoras o extractores para mantener el aire limpio.
- Elementos: el diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.

- Velocidad: se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montaje.
- Regulación: las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada combinando con sistemas oleoneumáticos.
- Sobrecargas: se pueden llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo alguno de sobrecargas y tendencia al calentamiento.

1.5. Desventajas del aire comprimido

- Preparación: es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.
- Velocidad: debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en elementos de trabajo.
- Ruidos: el aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastante molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores.
- Esfuerzos: son limitados (2 000 a 3 000 kilogramos con presión de trabajo de 7 kg/cm²).
- Costo: es una fuente de energía cara, pero compensada con el buen rendimiento y facilidad de implantación.

1.6. Fundamentos físicos del aire

Conocer algunas de las características físicas del aire comprimido antes de realizar cálculos y razonamientos de conceptos fundamentales básicos nos ayudará a saber el empleo de la fuente de energía neumática.

1.6.1. Aire

Se define aire como la mezcla de gases que envuelven la esfera terrestre formando la atmósfera.

Composición volumétrica

- 78 % de nitrógeno.
- 20 % de oxígeno.
- 1,3 % de argón.
- 0,05 % de helio, hidrógeno, dióxido de carbono, entre otros y cantidades variables de agua y polvo.

1.6.2. Peso específico

Es el peso por unidad de volumen. Para el aire = $1\ 293\ \text{kg/m}^3$ a $0\ ^\circ\text{C}$ y una atmósfera de presión.

1.6.3. Volumen específico

Es el volumen de la unidad de peso. Para el aire = $1\ 293\ \text{kg/m}^3$ a $0\ ^\circ\text{C}$ y una atmósfera de presión.

1.6.4. Temperatura absoluta

Esta temperatura se define teniendo como base el cero absoluto.

$$\text{Cero absoluto} = -459,67 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ o } -273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cero Absoluto es aquella temperatura que se presentaría en el caso de que el calor se remueva del material o la temperatura a la cual teóricamente el volumen del gas sería cero.

1.6.5. Presión

Es la fuerza aplicada por unidad de superficie, es el coeficiente entre la fuerza y la superficie que recibe su acción, es decir

$$P = F/S \quad \text{En donde } F = \text{fuerza, } S = \text{superficie}$$

1.6.6. Presión atmosférica

Presión atmosférica normal (o altura barométrica normal) es la presión de una columna de mercurio de 760 mm de altura a nivel del mar. El valor de la atmósfera es de 1,033 Kg/cm².

1.6.7. Presión absoluta y relativa

El resultado de dividir toda la fuerza ejercida sobre los elementos de una superficie, entre dicha superficie, da como resultado la presión. Esta presión se denomina *presión absoluta* y la emiten los barómetros. Todos los cuerpos están sometidos a una presión atmosférica. La diferencia entre *presión absoluta* y la

atmosférica es la que generalmente se emplea en los diversos cálculos; la miden los *manómetros* y la denominamos presión relativa.

1.6.8. Caudal

Se puede definir como la cantidad de fluido que pasa por una determinada sección de un conducto por unidad de tiempo.

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{Tiempo}$$

Existen dos formas de expresar el caudal:

- Caudal másico: cantidad de masa de un fluido que pasa por una sección en unidad de tiempo.
- Caudal volumétrico: cantidad de fluido que pasa por una sección de la unidad de tiempo.

En ambos casos está relacionado con la densidad del fluido, que en los gases es variable con la presión y la temperatura.

Cuando se habla de caudal de aire libre, es decir caudal volumétrico referido a la atmósfera normal de referencia (ANR) no se refiere a un caudal másico, puesto que en estas condiciones normales la densidad es constante.

1.6.9. Temperatura

Es una magnitud escalar que tiene relación con la energía interna de cualquier materia que ocupe un lugar en el espacio, esta energía es la energía cinética provocada por el movimiento de partículas traslacional, rotacional o en

forma de vibraciones internas del sistema, a mayor sea la energía cinética, su temperatura será mayor.

1.6.10. Calor

Es la manifestación de la energía que provoca variaciones en algunas propiedades físicas de los cuerpos. El calor pasa de un cuerpo caliente a otro frío hasta que ambos adquieren la misma temperatura.

1.6.11. Altitud

La altitud es importante cuando hablamos de compresores puesto que el aire llega a ser menos denso a mayor altura sobre el nivel del mar y la presión absoluta es por lo tanto menor. Puesto que el aire es menos denso, a mayor altitud, afecta principalmente la presión máxima de trabajo, su capacidad, consumo de energía y requerirá refrigeración.

1.7. Unidades de medida

Cualquier cantidad física se caracteriza mediante dimensiones. Las magnitudes asignadas a las dimensiones se llaman unidades. Algunas dimensiones básicas, como masa, longitud, tiempo y temperatura se seleccionan como dimensiones primarias o fundamentales, mientras que otras como la velocidad, energía y volumen se expresan en términos de las dimensiones primarias y se llaman dimensiones secundarias o dimensiones derivadas. Con el paso de los años se han creado varios sistemas de unidades. A pesar de los grandes esfuerzos que la comunidad científica y los ingenieros han hecho para unificar el mundo con un solo sistema de unidades, en la

actualidad aún son de uso común dos de éstos: el sistema inglés y el sistema internacional.

1.7.1. Unidades de presión

La unidad de presión según el SI (Sistema Internacional), es el N/m^2 (Newton por metro cuadrado) que, normalmente, recibe el nombre de Pascal. Esta unidad presenta el inconveniente de resultar demasiado pequeña para la mayor parte de las aplicaciones. Tradicionalmente, se venía empleando como unidad de presión la atmosférica física o bien el kg/cm^2 . Pero actualmente según el SI, la unidad más empleada en la práctica es el bar.

$$1 \text{ bar} = 10 \times \text{Pa} = 1 \times \text{dN/cm}^2 \text{ (decaNewton por centímetro cuadrado)}$$

El valor del bar es muy próximo al de las unidades tradicionales, es decir, a la atmósfera y el kilogramo.

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ 033 Kg/cm}^2 = 1 \text{ 013 bar}$$

1.7.2. Unidades de caudal

El caudal másico se expresa en kg/s (kilogramos por segundo) y el volumétrico en m^3/min (metros cúbicos por minuto) seguido de la referencia normal. No obstante, es más corriente expresar el caudal volumétrico en l/min (litros por minuto) o en m^3/h (metros cúbicos por hora).

1.8. Tuberías

Las tuberías son los conductos que transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles.

Las tuberías rígidas no poseen movimientos relativos y se utilizan en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.

Entre las tuberías rígidas más utilizadas se encuentran:

- Tuberías de acero: usadas cuando las instalaciones requieren de grandes diámetros (mayor de 4 pulgadas).
- Tuberías de cobre: usadas cuando las instalaciones son de reducido diámetro y están localizadas en medios poco corrosivos. Cuando se instalen tuberías de cobre debe tenerse en cuenta su alta fragilidad en presencia de vibraciones, su elevado costo y su limitación en cuanto se refiere a accesorios.
- Tuberías de hierro galvanizado: usadas en líneas de aire comprimido, ya que se resisten a la corrosión, se producen en una amplia variedad de tamaños y pueden ser utilizadas en servicios subterráneos y sumergidos.

Las tuberías semirrígidas, poseen cierta capacidad de deformarse, lo cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el PVC y el polietileno. Las tuberías semirrígidas, pueden conducir aire a moderadas presiones, son

livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños.

Las tuberías flexibles, conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicación, debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación.

Las mangueras básicamente están constituidas por un forro interno liso, resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y de un forro externo flexible, que le proporciona resistencia a los solventes y a la abrasión. Entre los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras se encuentran: *nylon*, PVC flexible, terglene, caucho y lona.

La resistencia de las conducciones está relacionada con el espesor de la pared y la clase de material utilizado en su fabricación.

1.9. Accesorios

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

Entre los accesorios más utilizados están:

- Niples y uniones: accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras que el niple tiene rosca doble macho.

- Adaptadores: elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.
- Reducciones: elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.
- Codo: acoplamiento rígido que cambia la dirección del flujo a 30, 45, 60 o 90 grados. Se usan cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos, codos desiguales cuando hay variación de diámetros en sus extremos.
- Tee: elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías, el diámetro de estas tuberías puede ser igual o desigual según sean las características de la tee.
- Cruces: son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano. Se usan para hacer derivaciones de una línea. Las cruces pueden ser de cruz igual si poseen rosca hembra y, simplemente, tapas cuando están provistos de rosca macho.
- Tapones: son elementos roscados que impiden el paso del fluido hacia una dirección no deseada, se les llama tapones para tubos cuando poseen rosca hembra y simplemente tapas cuando están provistos de rosca macho.
- Acoples rápidos: dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red. Se usan para acoplar o desacoplar

diferentes máquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión.

Los acoples rápidos cuentan con un dispositivo para cerrar automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo. Impiden cualquier escape innecesario de aire.

1.10. Unidad de mantenimiento

Está compuesto por un filtro de partículas de baja eficiencia, un regulador con un manómetro y un lubricador; su función principal es la de acondicionar una corriente determinada para su uso en una maquina. El filtro de partículas sirve para eliminar algunos contaminantes de tipo sólido, el regulador se encarga de disminuir la presión y el lubricador dosifica una cantidad requerida en algunas ocasiones por el equipo.

1.10.1. Condensador de humedad

Los condensadores de humedad, también llamados trampas de agua, se ubican en un nivel inferior de la red de distribución. Se fabrican de lámina de acero con juntas soldadas, provistos de una válvula de seguridad, manómetro y una válvula que evacúa el drenado de una forma automática o manual.

Cuando el drenado es automático, diariamente, se debe observar su correcto funcionamiento. Si el drenado es manual se debe abrir diariamente o las veces que se necesite. Debido a que si eleva demasiado el nivel condensado, este pasaría nuevamente al sistema de distribución, afectándolo en su rendimiento.

Entre los problemas que ocasiona la presencia de condensado en un sistema neumático están:

- Provoca corrosión en la tubería y en la mayoría de los componentes de la instalación neumática.
- Lava la lubricación en la herramienta o equipo neumático.
- Provoca un desgaste prematuro de la instalación y equipo.
- Causa, una deficiente operación en las válvulas y cilindros neumáticos.
- Incrementa el costo y programas de mantenimiento.

1.10.1.1. Filtro de aire

Es un dispositivo capaz de eliminar las impurezas del aire, como polvo, sólidos abrasivos, aceite, condensados y toda materia extraña. Llevan el aire limpio al regulador, lubricador y, posteriormente, al equipo neumático. Se fabrican de tela metálica fina, materiales sintéticos o de productos sinterizados.

Factores que deben tomarse en cuenta para la selección de filtros:

- Tamaño de las partículas a separar: estas dependen de la naturaleza de las válvulas y de los elementos de la maquinaria neumática.
- Capacidad del filtro: debe ser la mayor posible para reducir la fricción del aire al atravesarlo y para asegurar su buen funcionamiento, aunque hubiera una limpieza descuidada en su mantenimiento.
- Accesibilidad; asegura el desmontaje y montaje rápido para evitar un paro muy largo. Si es empleado en un trabajo interrumpido, conviene

montar 2 en paralelo para que mientras se limpie o cambie un filtro funcione el otro.

- Disponibilidad de repuestos: capacidad de contar con piezas de repuesto o filtros de cambio si se tratan del tipo desechable.
- Capacidad de almacenar y separar líquidos: el filtro debe contar con un depósito con capacidad suficiente para manejar el líquido separado o almacenado, evitando así la saturación con agua del elemento filtrante.

Algunos de los filtros que se utilizan son:

- Mecánicos
- De rejilla
- De borde
- De descarga automática, entre otros.

Figura 2. **Filtros para compresores**



Fuente: Aire comprimido blog. *Tipos de filtros para compresores.*

<https://www.airecomprimidoblog.es/filtros-para-compresores/>. Consulta: 22 de septiembre de 2019.

1.10.1.2. Válvula reguladora de presión

Son válvulas que suministran una presión adecuada para el funcionamiento del equipo neumático. La presión puede de cero hasta la presión de la conducción. La válvula reguladora también protege al equipo neumático de los aumentos o disminuciones de la presión de conducción, evitando que funcione con defectos en los momentos críticos del ciclo de trabajo. Entre las válvulas más utilizadas se tiene:

- Válvula reguladora de diafragma
- Válvula reguladora de embolo

1.10.1.3. Manómetro

Es el medidor de presión más utilizado en la industria por su gran adaptabilidad a los diferentes rangos de presión y las fluctuaciones repentinas de la misma, que pueden hacer que los otros dispositivos fallen.

El manómetro posee, en su interior, un tubo metálico con ciertas propiedades elásticas, con forma de C o espiral con su extremo sellado y acoplado a un mecanismo indicador. Cuando la presión se aplica al extremo abierto del tubo tiende a enderezarse produciéndose así una fuerza suficiente para mover un sector dentado y esta a su vez le provee de movimiento a una aguja indicadora la cual está montada sobre una escala numérica.

1.10.2. Mantenimiento

“Según la norma francesa AFNOR 60.010, mantención se define como: El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado.¹.

Un compresor es en general:

- Un respirador de aire: necesita aire fresco y limpio.
- Un consumidor de energía: necesita energía eléctrica adecuada.
- Un generador de calor: necesita un adecuad suministro de enfriamiento
- Un generador de agua condensada: necesita drenajes.
- Un usuario de aceite: necesita un lubricante de calidad y en cantidad apropiada.
- Un vibrador: necesita fundiciones y tuberías apropiadas.

Se hace énfasis en la economía de operación y la reducción de los costos generales fijos de los compresores. Los fabricantes de este tipo de máquinas diseñan y construyen máquinas que cumplen con los requisitos reales mucho más estrechos, lo que hace que el mantenimiento y la correcta operación tomen mayor importancia.

Se tiene cierto concepto ideal sobre lo que debe ser el mantenimiento de compresores. El mantenimiento del usuario está limitado, en general, por el presupuesto, al personal disponible, la destreza de dicho personal y los requerimientos de producción.

¹ PASCAL, Rodrigo. *Gestión moderna del mantenimiento*. p. 7.

El mantenimiento es una inversión en la continuación de la operación económica del compresor. El segundo beneficio más importante es la continuidad de la operación con un mínimo de interrupción no programada de la operación y reparaciones de emergencia. Cabe anotar que el reemplazo de piezas rotas conduce al manejo de crisis.

De los planteamientos hechos anteriormente puede surgir la pregunta ¿cómo puede entonces un ingeniero de planta o gerente de mantenimiento enfocar el problema de la programación y ejecución del mantenimiento de los compresores?

- Hacer un inventario de los compresores instalados:
 - Cantidad, localización en planta, tipo de compresor.
 - Determinar el ciclo de trabajo, tiempo cargando vs. Tiempo descargado de cada compresor.

- Determinar la disponibilidad de capacidad de aire en reserva en cada área de servicio:
 - Evaluar los efectos de una interrupción de la operación en cada área para predecir el aspecto de crisis de un compresor que esté temporalmente fuera de servicio.
 - A partir de estos efectos, se podrá establecer áreas críticas y asignar prioridades en los programas de mantenimiento.

- Determinar requerimientos diarios normales de cada unidad:
 - Aceite.

- Chequeos visuales y audibles.
- Establecer hoja de registro de rutina para ser llevada por las personas responsables de la máquina.
- Revisar las hojas conjuntamente con el personal.
- Planear con anticipación como resultado de las hojas de registro: piezas en existencia, reemplazamiento de piezas, cheques periódicos.

Como complemento a los aspectos anteriores se miran los siguientes puntos que aunque inicialmente no se consideran dentro los parámetros de mantenimiento, si influyen directamente en los equipos:

- Localización del compresor ya que el costo de espacio actualmente es alto en cualquier planta. Sin embargo, una localización inadecuada por ahorrar área es una falsa economía. Debe haber suficiente espacio alrededor y por encima de la unidad para hacer el trabajo de rutina diaria. Se debe dejar espacio también para la adecuada recirculación del aire con el fin de evitar sobrecalentamientos del motor y de otros dispositivos eléctricos sensibles como también del aire de admisión.
- Si la unidad se instala en un sitio donde es difícil encontrarla, verla o moverla alrededor de ella, el personal de mantenimiento hallará una excusa para evitarla, es una reacción humana normal.
- El filtro de aire de entrada. Un compresor de aire es un respirador. Si se le suministra aire sucio, húmedo y cargado de abrasivos entonces la vida útil de los elementos internos del compresor se acortará considerablemente. Colocar el filtro de admisión en un lugar limpio, pero en un lugar donde sea accesible para un servicio conveniente.

En cuanto a la lubricación en compresores industriales se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar un aceite que cumpla con las especificaciones del fabricante del compresor. Consultar el manual de instrucciones para las especificaciones exactas.
- Llevar registros sobre cuánto usa y cuándo se hacen los cambios.

Los registros deben ser los más sencillos posible. En las unidades pequeñas enfriados por aire recíprocante, una simple etiqueta fijada a la unidad es suficiente. Para las unidades más grande y enfriadas por agua se debe llevar registro más elaborado. Sin hacerlo demasiado pesado con datos incompresibles. El propósito de los registros es establecer el reconocimiento exacto de las funciones de mantenimiento periódico y llevar un historial para proyectar el mantenimiento futuro.

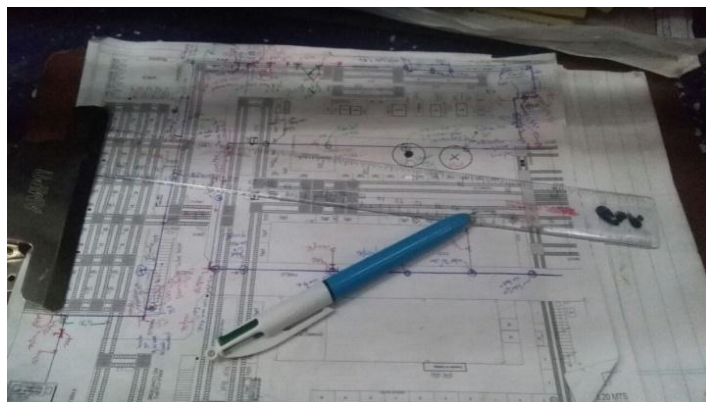
2. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se presentan las investigaciones correspondientes a la red de aire comprimido la cual consta de las siguientes etapas: levantamiento de información, diseño de los planos de la red, evaluación de los equipos actuales y del anillo de distribución instalado.

2.1. Planos y áreas de la instalación de la planta

En esta sección se presenta la información del levantamiento de información respecto al plano de la red ya que, actualmente, no se contaba con un plano donde se pudiera consultar la ubicación de cada uno de los elementos que conforman la red de aire comprimido. El levantamiento se realizó de la siguiente manera, se dibujó la red de aire sobre el plano impreso de la planta a papel y lápiz, y posterior a ello se dibujó en AutoCAD.

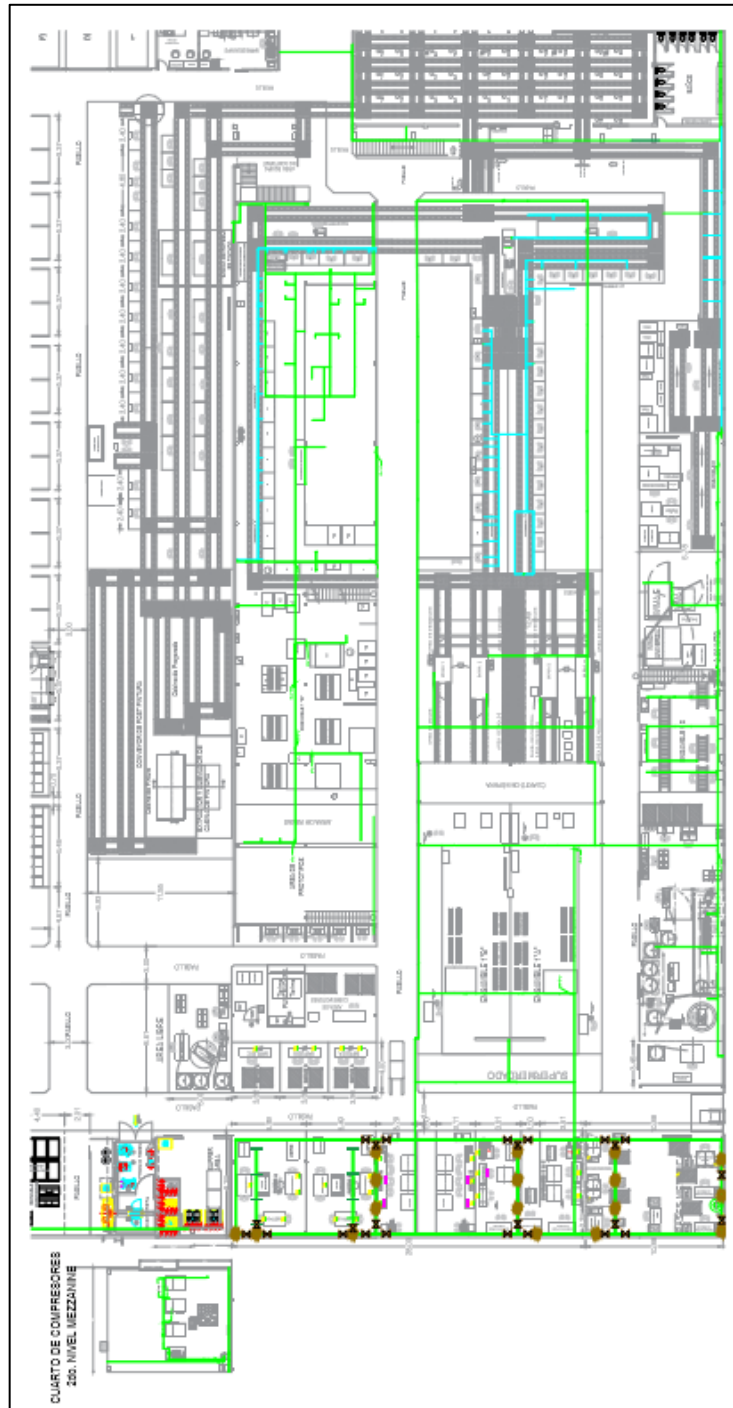
Figura 3. Metodología para dibujar la red de aire comprimido



Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se observa la información civil de la planta, en el cual se distingue de color verde la red de tuberías aéreas y de color cian las tuberías en a nivel del suelo. La red que se aprecia está ubicada en la planta principal de producción de equipos de refrigeración comercial sobre las líneas de producción que brindan el caudal de aire comprimido necesario para sus distintas aplicaciones en herramientas. La siguiente figura se encuentra seccionada en el área de anexos para apreciar a mejor detalle si desea ser consultado.

Figura 4. Distribución de la planta



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

2.2. Equipo y maquinaria

En la planta de manufacturera de equipos de refrigeración comercial, el equipo y maquinaria generan y acondicionan el aire comprimido necesario para el funcionamiento de las líneas de producción. A continuación, se presentan los principales datos técnicos extraídos de los manuales de operación y hojas técnicas de los fabricantes de cada equipo.

2.2.1. Información de la sala de compresores

La sala de compresores consta de diversos equipos, los cuales generan y acondicionan el aire comprimido necesario para el funcionamiento de la herramienta o cualquier aplicación para su utilización en las líneas de producción de la planta. A continuación, se presentan los principales datos técnicos investigados en manuales del fabricante y hojas técnicas.

2.2.1.1. Compresores

Actualmente, la empresa posee tres compresores de marca Kaeser, de los cuales, normalmente, funcionan dos. El otro se utiliza alguno de los anteriores requiere mantenimiento. De esta forma la capacidad se mantiene y se evitan inconvenientes en las líneas de producción. A continuación, se presentan las siguientes tablas relacionadas con la información técnica de los compresores.

Tabla I. **Información técnica del compresor 1**

Compresor 1	
Marca	Kaeser
Modelo	BSD 50
Núm. de serie	1 016
Año	2014
psig	125
Caudal	0,26 – 86 m ³ /min
Hz/pm	60/3570
Fases	3
HP	50
Voltaje	230Y/133 V

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Información técnica del compresor 2**

Compresor 2	
Marca	Kaeser
Modelo	BS61
Núm. de serie	1 038
Año	2001
psig	110
Caudal	0,26 – 86 m ³ /min
Hz/pm	60/1800
Fases	3
HP	50
Voltaje	240
FIA	123

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Información técnica del compresor 3**

Compresor 3	
Marca	Kaeser
Modelo	BSD50
Núm. de serie	1 016
Año	2014
psig	125
Caudal	0,26 – 86 m ³ /min
Hz/pm	60/3570
Fases	3
HP	50
Voltaje	230 Y/ 133 V

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.2. Secador

Este equipo enfría el aire con un refrigerante para eliminar la humedad, de esta forma, el vapor de agua se condensa formando agua líquida y el aire se puede comprimir. El resultado es un aire seco comprimido que se puede utilizar en un equipo de aire comprimido sin causar algún daño al mismo. En la tabla IV se pueden apreciar los datos técnicos del secador que protege a los equipos de esta humedad.

Tabla IV. **Información técnica del secador**

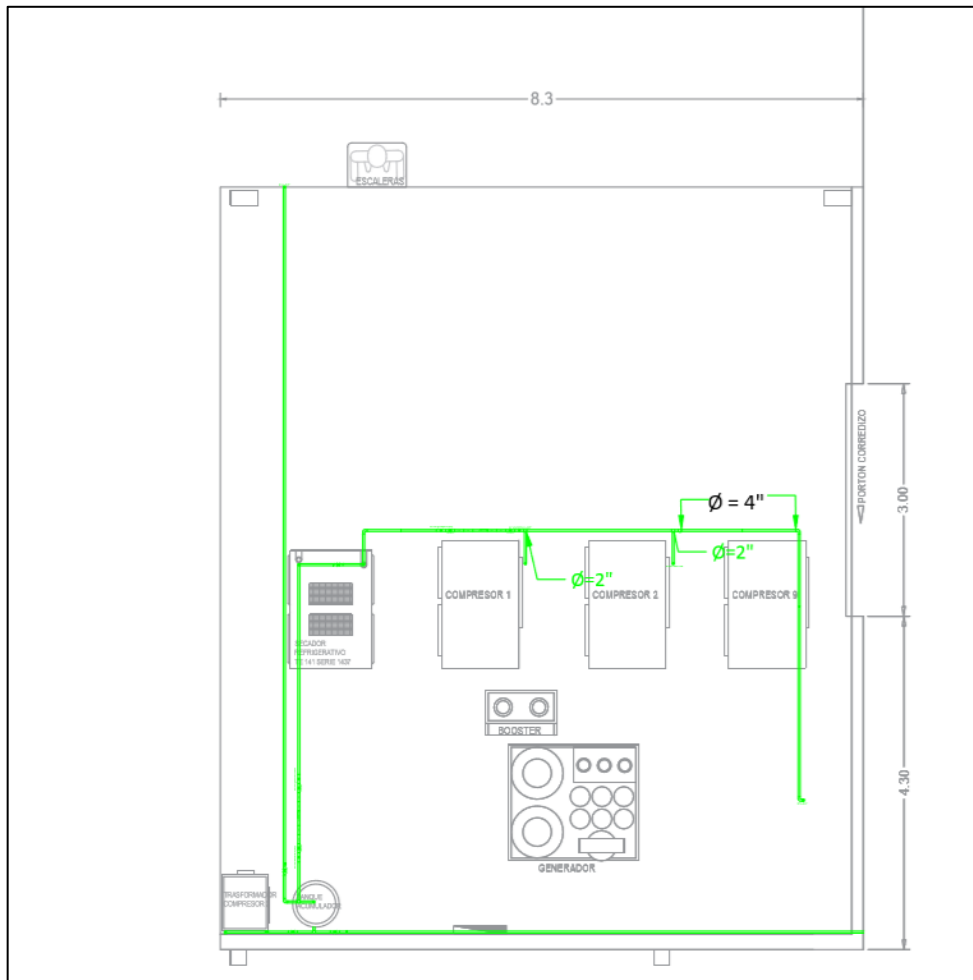
Secador refrigerativo	
Marca	Kaeser
Modelo	TE 141
Núm. de serie	1 437
Año	2011
Refrigerante	R134a
Carga de refrigerante	4,4 lb
Presión de trabajo HP	260 psi
Presión de trabajo	230 psi
Voltaje	460
Frecuencia	50 Hz
Corriente	4,9 A

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Distribución de cuarto de compresores

La sala de compresores de la planta está ubicada en un mezanine donde se encuentra el equipo de elementos de la red de aire comprimido: 3 compresores 1 secador, 1 tanque acumulador, tableros eléctricos principales y un transformador de voltaje. Como se aprecia en la figura 5 y 6.

Figura 5. **Distribución de cuarto de compresores dibujado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Figura 6. **Cuarto de compresores**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Componentes actuales del sistema de aire comprimido

Debido a los requerimientos de la fábrica, la red de aire comprimido ha crecido y se ha perdido el control sobre ella, ya que cuentan con tuberías de distintos diámetros, tuberías obsoletas, fugas, entre otros. La red, actualmente, consta de los siguientes elementos:

Tabla V. **Componentes actuales del sistema de aire comprimido**

Tuberías	- Rígidas - Flexibles
Accesorios de tubería	- Niples y uniones - Reducciones - Codos - Tees - Cruces - Tapones - Acoples rápidos - Adaptadores
Válvulas	- De compuerta - De paso - De globo
Filtros	- De partículas - Coalescentes
Purgas	- Manuales

Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE UNA RED EFICIENTE DE AIRE COMPRIMIDO

3.1. Consideraciones previas

Se investigaron las necesidades de la red de aire comprimido para cumplir con el funcionamiento de diversas herramientas para el ensamble de equipos de refrigeración comercial y otras aplicaciones en maquinaria. Una vez establecidos los requerimientos para optimizar la utilización del aire comprimido se consideró que se deben evitar caídas de presión, fugas de aire y obtener un aire de alta pureza para evitar daños en la red maquinaria y herramientas. A continuación, se definirán varios conceptos útiles para comprender la propuesta.

3.1.1. Consumo específico

Es el consumo de fluido (aire en este caso) para el uso de una herramienta o equipo que define el fabricante para que opere. Se expresa en litros por minuto (l / min), metros cúbicos por minuto (m^3/min) o pies cúbicos por minuto (CFM).

3.1.2. Coeficiente de utilización

Este coeficiente se refiere al tiempo en que un componente neumático está detenido por la índole de su trabajo o su operación intermitente. Este coeficiente varía según el tipo de herramienta, accionamiento o máquina.

Tabla VI. **Coefficiente de utilización**

Atornilladores	25 %
Remachadores	50 %
Taladros	25 %
Lijadoras	50 %
Roscadoras	30 %

Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 12.

De modo que, se deberán sumar los consumos de todas las herramientas o maquinaria empleados y hacer una reducción del tanto por ciento indicado, por trabajo no simultáneo para obtener la capacidad del compresor.

3.1.3. **Coefficiente de simultaneidad**

Lo habitual en la industria es que en una red de aire comprimido estén en funcionamiento diversas herramientas o máquinas, por lo tanto, el promedio de los coeficientes de utilización de cada uno de ellos dará el coeficiente de simultaneidad. Para evitar definir unidad por unidad este coeficiente, se da una cifra global para todo el conjunto de equipos en una planta que se estima así:

Tabla VII. **Coefficiente de simultaneidad**

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

Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 12.

3.1.4. Capacidad de los compresores

Para evaluar la capacidad de los compresores, es necesario conocer el consumo medio del conjunto de herramientas y maquinaria que utilizan el aire comprimido en la planta. La capacidad de los compresores puede averiguarse estableciendo lo siguiente:

- Estudiar determinadamente todas las aplicaciones en la planta para que puedan tener aire comprimido donde se necesite.
- En base a este estudio se conocerán los tipos y número de herramientas que se utilizan para el ensamble de equipos.
- Generar un listado de cada modelo de herramienta o equipo y su cantidad, tomando como referencia su consumo específico.
- Se obtiene el consumo total promedio de aire libre que suministran los compresores o deberán suministrar.
- Se multiplica el consumo total promedio de aire por el coeficiente de simultaneidad y así saber la cantidad del aire que deberán suministrar los compresores.
- Se toman en cuenta la parte de pérdidas del sistema por medio de un tanto por ciento de consumo de aire que oscila entre 5 % y 10 %.
- Se agrega un tanto por ciento si se necesitan futuros requerimientos por ampliación.

- La sumatoria de todos los valores mencionados serán el consumo de aire total que deberá suministrar según surja en esta propuesta.

3.1.5. Número de compresores

Una vez determinadas las aplicaciones y necesidades de aire comprimido, se debe tomar en cuenta el número de compresores que se requieren o si los que existen cumplen con la demanda requerida. Actualmente, se ha considerado contar con una unidad compresora de reserva para sustituir a alguno de los está en uso, cuando requiera mantenimiento. De esta forma se seguirá trabajando normalmente. Por lo tanto, se cuenta con tres compresores actualmente. A continuación, se listarán las áreas con sus cargas de aire comprimido respectivas.

3.2. Cálculo de cargas en el edificio de planta

En el edificio de planta, se encuentran 4 líneas de producción de equipos de refrigeración comercial para diversos modelos. Los operarios se encargan de ensamblar piezas metálicas que forman el exterior e interior de los equipos, inyectar los equipos con espuma en wimas que soportan la presión del crecimiento de la espuma líquida en su fase inicial para después expandirse dentro de las paredes de los equipos y con ayuda de moldes de madera para finalmente aislar los equipos, instalar diversos componentes eléctricos y electrónicos, instalar bases, tarimas, puertas, entre otros para finalmente completar un equipo de refrigeración comercial. Se tomó una línea de producción como piloto para obtener la información de todas las aplicaciones del aire comprimido ya que la mayoría de las tareas que realizan también se llevan a cabo en las otras líneas. De esta forma se obtiene el número total de las herramientas y maquinaria que se utiliza en el edificio de planta.

Tabla VIII. **Requerimientos de herramienta neumática para una línea de producción**

Ensamble	Clinchadora	Rivnutera	Wima	Taladro	Atornillador	Remachadora
Ensamble 1	2	2	0	0	0	0
Espuma	0	0	1	0	0	0
Ensamble 2	0	1	0	2	5	4
Ensamble 3	0	1	0	1	7	1
Refrigeración	0	0	0	0	0	0
Evaporadores	0	0	0	0	0	0
Unidades	0	0	0	0	2	0
Baffles	0	1	0	0	1	0
Puertas	0	0	0	1	3	0
Total	2	5	1	4	18	5

Fuente: elaboración propia.

Como se cuenta con 4 líneas de producción que realizan en promedio las mismas operaciones de ensamble, bastará con multiplicar la cantidad de herramienta que se muestra en la tabla VIII por las cuatro líneas para obtener la demanda total y conseguir las cargas para el edificio de planta. En la tabla IX se muestra la cantidad de herramientas total requerida

Tabla IX. **Requerimientos de herramienta neumática total para el edificio de planta**

Cantidades	Clinchadora	Rivnutera	Wima	Taladro	Atornillador	Remachadora
Cant. de herramienta total para una línea de producción	2	5	1	4	18	5
Cant. de herramienta total para 4 líneas de producción	8	20	4	16	72	20

Fuente: elaboración propia.

Con el estimado de la herramienta que se necesita para una línea de producción de equipos de refrigeración comercial, se especifica el consumo de aire comprimido para cada herramienta, según manuales de fabricante.

- 8 clinchadoras para trabajos de unión de lámina con lámina para formar las tinas y gabinetes de equipos, con un consumo específico de aire comprimido de 3,11 m³/min.
- 20 rivnuteras para instalar tuercas remachables, con un consumo específico de 2,26 m³/min.
- 4 wimas con 24 actuadores neumáticos cada una, para soportar la presión del crecimiento de la espuma aislante en los equipos, con un consumo de 0,0458 m³/min por actuador siendo un total de 1,01 m³/min.

- 16 taladros para realizar diversas perforaciones para posteriormente instalar componentes en los equipos de refrigeración comercial, con un consumo específico de 0,48 m³/min.
- 72 atornilladores para instalar diversos componentes en los equipos, con un consumo específico de 0,17 m³/min.
- 20 remachadoras, con un consumo específico de 1,415 m³/min.

En la tabla X se anota el total de los consumos de cada laboratorio.

Tabla X. **Totalidad de consumo de aire comprimido en el edificio de planta**

Edificio de planta	Tipo de herramienta	Cantidad	Consumo específico m ³ /min	Consumo Total m ³ /min
	Clinchadora	8	3,11	24,88
	Rivnutera	20	2,26	45,2
	Wima	4	1,01	4,04
	Taladro	16	0,48	2,56
	Atornillador	72	0,17	12,24
	Remachador	20	1,415	28,3
	Total			117,22

Fuente: elaboración propia,

El dato total de 117,22 m³/min no es el real, debido a que no siempre todas las herramientas o equipo están funcionando, y varía según las horas programadas o los turnos que estén vigentes en cualquier momento, para obtener el dato real se encuentra el coeficiente de utilización, ya que, al multiplicar este coeficiente por el consumo total, se obtiene el consumo real y encontrando el promedio ponderado de los coeficientes de utilización se

obtendrá el *coeficiente de simultaneidad* de la utilización de aire comprimido para el edificio principal de planta donde se tienen las 4 líneas de producción. A continuación, en la tabla XI se observan los datos calculados con el coeficiente de utilización de las herramientas y máquinas que se utilizan en las líneas de producción.

Tabla XI. **Totalidad de consumo de aire comprimido en el edificio de planta**

	Tipo de herramienta	Consumo Total m³/min	Coeficiente de Utilización	Suma m³/min
Edificio de planta	Clinchadora	24,88	80 %	19,90
	Rivnutera	45,2	80 %	36,16
	Wima	4,04	65 %	2,62
	Taladro	2,56	80 %	2,05
	Atornillador	12,24	80 %	9,79
	Remachador	28,3	60 %	16,98
	Total			

Fuente: elaboración propia.

3.3. Selección del equipo de aire comprimido

Para usar aire comprimido como energía para que funcionen diversas herramientas o máquinas en la industria se debe utilizar el aire que se tiene en el ambiente a presión atmosférica, pero se debe adquirir y seleccionar un sistema de compresión de aire. Se debe contar con un compresor para que la presión atmosférica sea mucho más alta. Para ello, se debe invertir en la adquisición de un compresor que se adapte a las necesidades, red de tuberías y equipos neumáticos, además de considerar gastos por mantenimiento y conservación de lo mencionado. De esta forma se aprovecha esta energía y se mantiene una presión constante desde que sale del compresor hasta la última

ramificación de tubería necesaria. Como consecuencia, se obtiene un beneficio económico para evitar la pérdida de presión y aprovechar este recurso.

3.3.1. Pérdida de presión = pérdida de potencia

Una presión que se encuentra en la mayoría de redes de aire comprimido en la industria, oscila entre los 6 y 7 bar para que en condiciones normales de funcionamiento operen herramientas o equipos neumáticos y obtengan su máximo rendimiento sin estar sobrecargados permitiendo que se deterioren.

Además, la presión en la salida del compresor no es la misma que llega al punto de aplicación. Esta pérdida ocurre por la fricción que encuentra a lo largo de la red de tubería, la cual va perdiendo presión si se encuentra con demasiadas vueltas o subidas en la red, o distintos diámetros de tuberías y por lo tanto llegará con una menor presión al punto de aplicación.

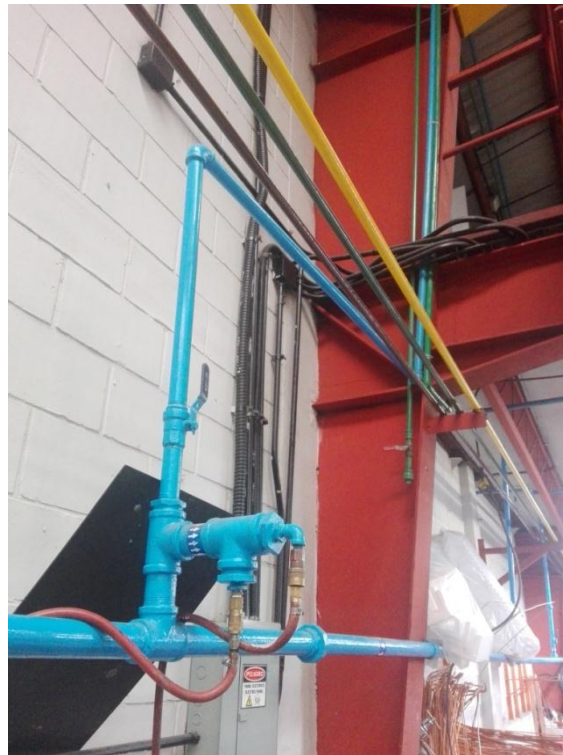
En el edificio de planta, se cuenta con una red de tuberías que conducen esta energía (presión de aire) en la cual se pueden encontrar acoplamientos rápidos, filtros, mangueras, conexiones, etc. igual que las pérdidas existentes por fugas por un mal sellado entre componentes de aplicación que impiden conseguir que se distribuya en cada punto de suministro el aire comprimido la presión requerida. Sin embargo, es posible mitigar estas pérdidas de presión a valores pequeños aceptables comparados con la pérdida actual en el sistema.

Lamentablemente, son inevitables ciertas pérdidas en cualquier sistema por muy eficiente que sea, por lo tanto, calcular y compensar de modo correcto estas pérdidas es una parte importante de esta investigación, antes de cualquier modificación. Para formarse una idea de las modificaciones que por

realizar, se recomienda que la caída máxima de presión en la instalación sea de 0,6 bar.

En la figura 7 se muestra un tramo de tubería de la red, que presenta diversas subidas, conexiones, acoples, entre otras cosas que ejemplifica todo lo mencionado anteriormente y genera pérdidas en el sistema.

Figura 7. Tramo de red con pérdidas de presión



Fuente: elaboración propia.

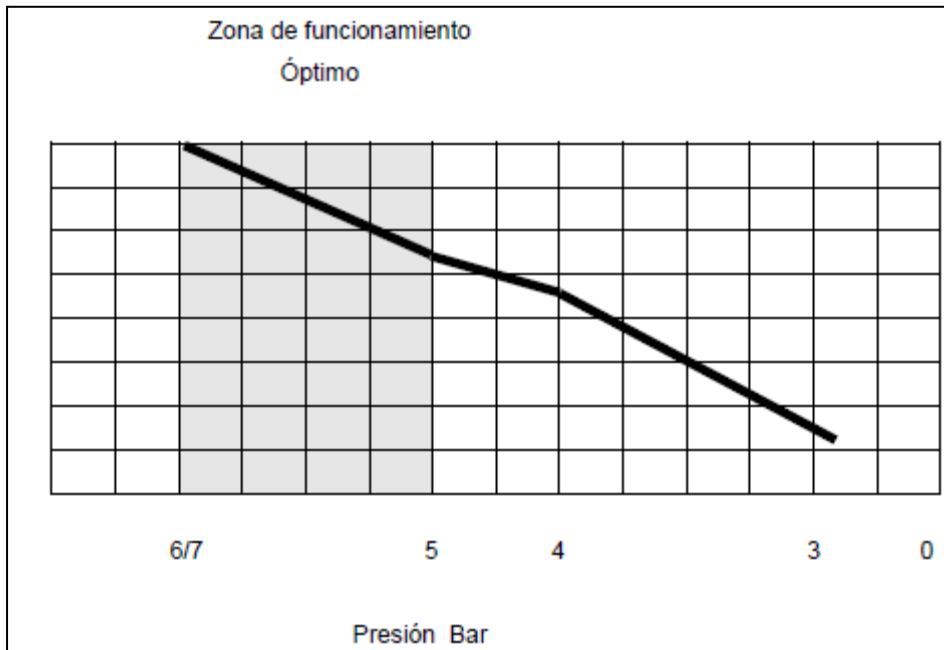
Tabla XII. **Pérdida de presión de algunos dispositivos**

Refrigerador posterior de agua	0,09 bar
Refrigerador posterior de aire	0,09 bar
Secador frigorífico	0,20 bar
Secador adsorción	0,30 bar
Separadores cerámicos	0,10 bar
Red de tuberías	0,14 bar
Filtros en general	0,15 bar

Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 28.

En la figura 8 se muestra una gráfica del rendimiento de una herramienta neumática que alcanza al trabajar con una presión recomendada que oscila entre 6 y 7 bar. Se aprecia que hay una zona de funcionamiento óptimo, pero como se sabe, puede que no se apegue específicamente a los cálculos y requerimientos de diseño para una herramienta. Por ello, forzosamente se debe admitir una variación en la presión normal de funcionamiento entre 5 y 6,5 bar. Si es una presión debajo de los 5 bar, el rendimiento de la herramienta bajará rápidamente y si es por encima de 6,5 bar, las piezas internas de las herramientas o maquinaria se verán sometidos a vibraciones excesivas que los deterioran a través del tiempo y pueden hacer fatigosa la tarea al operador y pueden provocar errores en proceso.

Figura 8. **Curva de rendimiento en función de la presión**



Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 29.

En conclusión, no es rentable instalar tuberías insuficientemente calibradas por un deficiente proyecto de instalación, porque la presión de trabajo que pide la herramienta o el equipo neumático no puede mantenerse, la potencia de las máquinas y útiles neumáticos decrece en mayor proporción que lo hace la presión, repercutiendo en su rendimiento.

Es importante ser cuidadosos al calcular las tuberías de aire comprimido para que la energía neumática que se gasta se materialice efectivamente en las diversas aplicaciones que se tienen en la planta de equipos de refrigeración comercial, ya que es el único medio para que las instalaciones de la red de tubería sean rentables.

3.3.2. Pérdidas de aire admisibles por fugas

Como cualquier sistema ideal de aire comprimido o fluido transportado para su aprovechamiento, no existen fugas. Sin embargo, en la realidad es imposible suprimir las fugas de aire comprimido debido a varios factores. Las pérdidas de aire por fugas no tendrían que pasar del 5 y 10 % del consumo palpable de aire en un sector industrial que utiliza herramientas neumáticas comunes como atornilladores, taladros, entre otros, en talleres mecánicos en general.

Si se colocan accesorios de calidad y montando las uniones soldadas se pueden mitigar muchas de estas fugas, actualmente existen muchos reportes de fugas en la red de aire comprimido del edificio de planta, pero debido a que no se ha priorizado repararlas siguen dándose o solo se reparan algunas que definitivamente son muy evidentes o generan paros en la producción de los equipos, otro de los problemas es que la red de aire presenta notables longitudes e instalaciones provisionales que generando pérdidas por fricción y la pérdida en el sistema puede variar entre un 10 % y 15 %.

Partiendo del margen entre 10 y 15 % de la capacidad del compresor, se continúa con la deducción del cálculo del escape de aire por fugas para tenerlo en cuenta y restar este valor al caudal de aire proporcionado por el compresor.

En la tabla XI se tiene un dato de 87,5 m³/min. de consumo de aire y, de acuerdo con la tabla VII sobre coeficiente de simultaneidad, se seleccionó un valor que se apegara a nuestros requerimientos el cual fue de un 50 %, entonces aplicándolo para la red del edificio de planta se tiene lo siguiente:

$$87,5 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,50 = 43,75 \text{ m}^3/\text{min}$$

Significa que, para saber la capacidad de los compresores que se deberían tener para cumplir con la demanda de aire comprimido en la planta, con el dato obtenido, habría que añadir también un 15 % por pérdidas de aire, así como un 30 % para prever posibles ampliaciones, con lo cual se obtiene lo siguiente.

Consumo de aire	43,75 m ³ /min
15 % pérdida por fugas	6,56 m ³ /min
30 % futura ampliación	13,13 m ³ /min
Total	63,44 m ³ /min

El resultado es que el compresor o grupo de compresores que se deberían tener o implementar debería de cubrir como mínimo, 63,44 m³/min a una presión de 125 Psi (8,62 bar).

Según las fichas técnicas de los compresores con los que se cuenta actualmente en las tablas I, II y III, cumplen con los requerimientos planteados anteriormente y, fácilmente, pueden seguir con futuras ampliaciones de la red de aire comprimido, además que se utiliza el método de 2+1 de contar con otro compresor de la misma potencia, capacidad y marca, como reserva por cualquier acontecimiento.

3.3.3. Parámetros

Se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros claves que inciden en una instalación de aire comprimido:

- Pérdida de presión: es la serie de obstáculos que impiden que el aire comprimido circundante por la tubería llegue a los diferentes puntos de utilización, perdiendo su energía por la fricción, y se le conoce como presión diferencial, Δp , pérdida de carga, entre otras.
- Presión: con la cual se desea que la maquinaria o herramienta neumática opere, entregada por el caudal de aire del compresor. Son presiones efectivas que se encuentran a partir de la presión atmosférica.
- Velocidad de circulación: el caudal de aire comprimido entregado por el compresor lleva una velocidad. Si es muy alta, mayor será la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de utilización. El aire comprimido es óptimo en velocidades que oscilan entre 3 y 5 m/s.
- Caudal: es el caudal entregado por el compresor, y se expresa en m^3/min o en l/min.

3.4. Tuberías

Actualmente, en el edificio de planta, existe una red de tubería que transporta el aire comprimido a los puntos de utilización. Todo movimiento de aire comprimido por una tubería produce una pérdida de presión debido a ciertas características, como la rugosidad y el diámetro asociado, entre otras. Para construir la red se utilizó el acero. Debido al crecimiento de la red por la demanda en distintos puntos, después de haber analizado la tubería cuando se dibujó en papel para generar el plano, se encontraron algunos tramos de tubería soldados y esto aumentaba la posibilidad de fugas. Actualmente, en el mercado, para evitar esto, se encuentran tuberías estiradas en frío. Son más duraderas que el acero, pero más costosas.

La red de tuberías cuenta con identificación y dirección del aire comprimido, ya que según la norma UNE 1063 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado UNE 48 103 y además es una parte importante del mantenimiento.

Figura 9. **Identificación de tuberías de aire comprimido en la planta**



Fuente: elaboración propia.

Las tuberías de una red no requieren de mantenimiento tan riguroso, basta con la detección y corrección de fugas u obstrucciones de algún material. Se eliminan limpiándola o reemplazando el tramo de tubería, aunque esto no sucede con frecuencia.

Para el edificio de planta se consideran tres tipos de tuberías:

- Tubería principal
- Tubería secundaria
- Tubería de servicio

3.4.1. Tubería principal

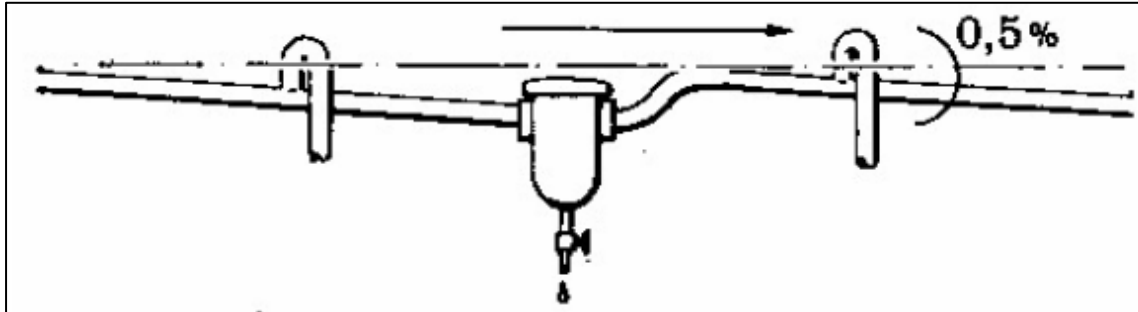
Es la tubería que sale del depósito y conduce el caudal de aire. Se debe considerar el mayor diámetro posible y sección para evitar pérdidas de presión y para futuras ampliaciones.

La velocidad máxima del aire es de 8 m/s.

3.4.2. Tubería secundaria

Estas tuberías captan el caudal de la tubería principal. Se ramifican por toda la planta en las áreas de trabajo. De ellas derivan las tuberías de servicio. El caudal que conducen es igual a la suma del caudal de todos los puntos de consumo. Igual que con las tuberías principales, es importante considerar, en futuras ampliaciones al calcular su diámetro, su velocidad igual que la principal será de 8 m/s. También se debe considerar, para la distribución de estas tuberías, la inclinación mínima de 0,5 % en la dirección del flujo.

Figura 10. Línea secundaria con inclinación



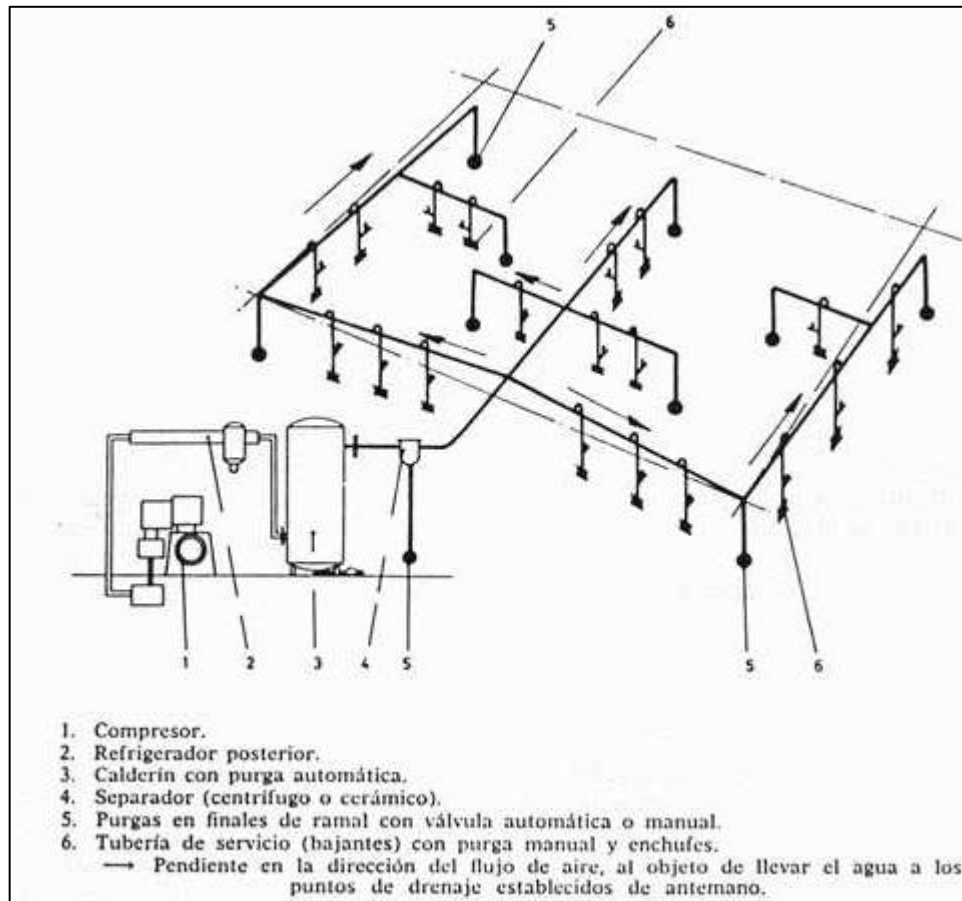
Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 36.

3.4.3. Tuberías de servicio

Estas tuberías distribuyen el caudal de aire comprimido en los puntos de manipulación para accionar herramientas o equipos neumáticos. En sus extremos pueden contar con conectores rápidos, mangueras de aire, filtros, reguladores, entre otros. Se debe procurar no instalar más de dos o tres conectores rápidos en ellas, y tener en cuenta que en tuberías de servicio inferiores a $\frac{1}{2}$ " de diámetro se deben evitar ya que, si la calidad del aire no es muy eficiente, se pueden obstruir.

Debido a que el diámetro en estas tuberías es inferior en comparación con el de las tuberías primarias y secundarias, su velocidad aumenta, teniendo una velocidad máxima de 15 m/s. Si las tuberías tienen diámetros muy pequeños, es difícil la separación por métodos mecánicos de partículas contaminantes.

Figura 11. Red de aire comprimido y accesorios



Fuente: PAREDES LÓPEZ, José Javier. *Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero*. p. 28.

3.5. Cálculo de tuberías

La longitud total de tubería que se debe utilizar para la propuesta de la red de aire comprimido de la planta de producción fue medida del plano de localización de la maquinaria y tomas de aire, que se ubica en la figura 4, por lo que se tienen los siguientes datos.

Tabla XIII. **Diámetros y longitudes de tubería total de la red de aire comprimido en el edificio de planta**

Diámetro (plg)	Longitud de tubería (m)
1 y 2	677,68
4	155,62
Longitud total	833,3

Fuente: elaboración propia.

3.6. Determinación del diámetro más económico de la tubería

Se debe admitir que se es posible que haya una caída de presión mayor o menor porque hay tuberías montadas de modo permanente y otras pareciera que son transitorias.

Uno de los errores comunes en la práctica es la falta de competencia relacionada con los criterios para elegir el diámetro más económico de tubería. Generalmente, se opta por la oferta más económica o la más alta, por lo cual su rentabilidad podría ser dudosa. Por esto se deben analizar la amortización del precio global de la tubería con su montaje y la pérdida de presión.

Para decidir si aumentar o disminuir el diámetro de tubería, se considera lo siguiente:

- Para caudales pequeños, los errores cometidos en la elección de diámetro de tubería son mayores que en uno de un caudal mayor.
- Para caudales grandes, el error, si se aumenta el diámetro de tubería es menos grave, aunque aumente su precio, que si se reduce su diámetro.

En conclusión, para reducir al máximo la pérdida de presión en la mayoría de las herramientas o equipos de accionamiento neumáticos, se debe considerar que la presión de entrada ejerce influencia sobre su rendimiento. Por eso, dará buen resultado considerar un precio-diámetro.

Para la propuesta de diseño de red se debe considerar lo siguiente:

- Reacondicionar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.
- La instalación de la tubería debe ser lo más recta posible para disminuir la cantidad de accesorios, como codos, tees, cambios de diámetros, entre otros, ya que esto aumenta la pérdida de presión en la red.
- Los cambios bruscos de direcciones o inclinaciones que tiene la red aumentan la posibilidad de acumulación de condensados. Por ello, se deben colocar válvulas de evacuación de condensados.
- Contar con un diámetro de tubería principal bueno con respecto a tamaño para evitar inconvenientes ante una ampliación de la red.
- Se prefiere la instalación aérea de la tubería para facilitar la inspección y accesibilidad durante el mantenimiento y futuras ampliaciones, entre otros.
- Instalar llaves de paso en ramales principales o secundarios, para revisar tuberías y evitar que los compresores dejen de recibir el suministro de aire cuando se realicen reparaciones o nuevas instalaciones.

- Considerar si las tuberías actuales soportan caudales nuevos antes de implementar expansiones de tubería en la red.

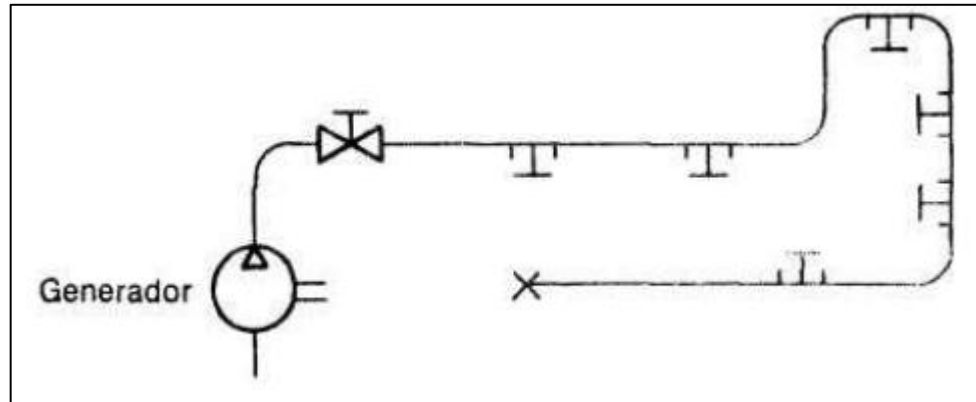
Por lo tanto, se recomienda que, en los tramos entre 1 y 2 pulgadas de la red de aire comprimido de la planta de equipos de refrigeración comercial, se opte por cambiar la tubería de 1 pulgada a tubería de 2 pulgadas para que elimine la variación entre diámetro y así evitar la utilización de tantos accesorios de unión y cambios bruscos de presión debido a esto.

3.7. Configuración de una red de aire comprimido

Teóricamente existen tres distribuciones para una red de aire comprimido las cuales son: circuito cerrado, circuito abierto y mixto. Debe analizarse cuál va a utilizarse ya que, en una red de aire, la distribución de acumulación de agua en la red debe considerarse. Es difícil de detectar porque requiere de pericia comparada con las pérdidas que se pueden calcular matemáticamente como velocidad, presión, entre otros sin ninguna dificultad.

- Red abierta: este diseño se emplea en redes relativamente pequeñas, donde hay pocos puntos de alimentación cercanos al compresor. Los aspectos negativos de esta configuración son dificultades en la velocidad de distribución del aire, fluctuaciones en la presión de la línea y suministro de caudal a largas distancias.

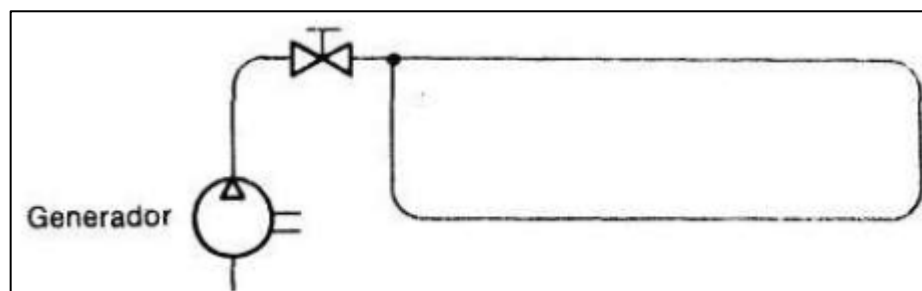
Figura 12. **Red abierta**



Fuente: DELGADO MELGAR, Joanne Stephany. *Diseño del sistema de aire comprimido para la planta de autoabastecimiento de paneles de madera de la fundación techo Guatemala.* p. 7.

- Red cerrada: es uno de los más utilizados en los diseños de distribuciones de aire comprimido en diversas aplicaciones debido a que la presión, caudal y velocidad del flujo de aire se mantiene constante en todos los puntos del circuito ya que el flujo está compartido en toda la línea.

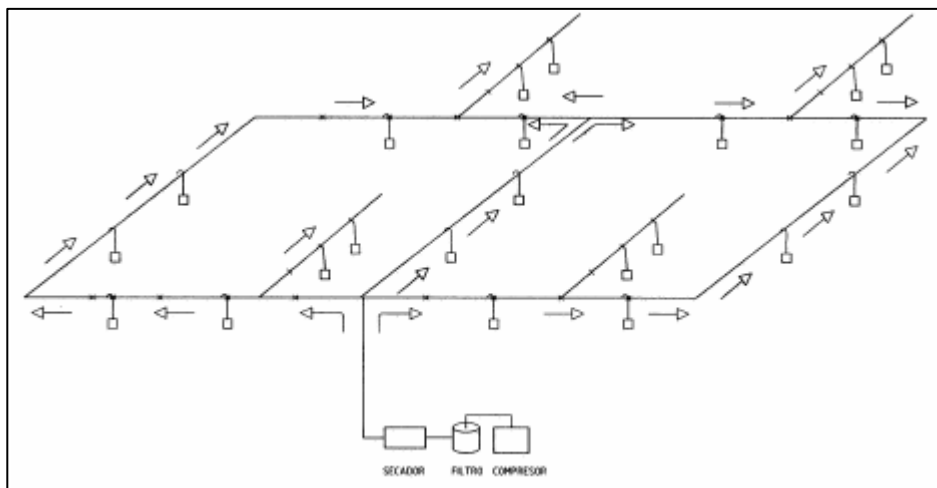
Figura 13. **Red cerrada**



Fuente: DELGADO MELGAR, Joanne Stephany. *Diseño del sistema de aire comprimido para la planta de autoabastecimiento de paneles de madera de la fundación techo Guatemala.* p. 6.

- Red mixta: es la combinación entre circuito cerrado y abierto. De esta naturaleza es que se utiliza en el edificio de planta analizado en este trabajo de investigación. Cuenta con un número significativo de herramientas y no presenta limitaciones en la demanda del aire comprimido. Es tipo de distribución requiere de un análisis económico riguroso ya que las dimensiones considerables de la red exigen planificación cuidadosa. Se debe trazar un plano de la distribución de la red en el lugar de trabajo y, sobre este, anotar las necesidades de volumen de aire, calidad y posición, entre otros. Una vez definidos los puntos de consumo, partiendo desde la conexión de la sala de compresores, se definen las dimensiones de las líneas principales, pueden ser horizontales o ascendentes y derivar líneas de servicio a los lugares de trabajo. De ellos pueden bifurcarse otros más pequeños como se muestra en la figura 14.

Figura 14. **Red mixta**



Fuente: MALDONADO CONDE, Marco Vinicio. *Rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de equipo de cocina y panadería Rest-O-Pan S.A.* p. 4.

3.8. Mantenimiento de la red de aire comprimido

En la planta de equipos de refrigeración comercial se cuenta con un departamento de mantenimiento mecánico y de instalaciones para la red. Se dispone de operarios mecánicos para supervisar y mantener la red de aire comprimido. Se recomienda que, por lo menos, una vez al año se revisen los compresores, equipos de tratamientos de aire, llaves, acoples rápidos y demás equipo neumático. Además todos los usuarios de dicho aire comprimido deben revisar que no haya fugas e informarlo si así fuera. Una fuga grande se detecta por medio de un ruido característico. Para identificar las fugas pequeñas se utiliza una pistola de ultrasonido que detecta turbulencias que se forman cuando existe una fuga de aire. Estas fugas se perciben con los audífonos y se muestran en decibeles en la pantalla que tiene el operador de la pistola. Todo ello para llevar un plan de ahorro energético que justifica el gasto en mantenimiento.

3.8.1. Revisión de la red de aire comprimido

En las industrias, muchas veces un mantenimiento para alguna instalación o máquina que no sea tan indispensable para la producción, se le considera gasto innecesario. Por eso, con frecuencia las instalaciones de aire comprimido son inadecuadas por su envejecimiento, abandono o se utilizan por encima del fin para el cual fueron diseñadas. En este caso, se debe revisar la red en estudio ya que, se atribuye a las herramientas la causa de los defectos en instalaciones u operaciones, aunque estas son solo receptoras del aire que se suministra ya sea bajo en presión o de mala calidad.

Figura 15. **Ejemplo de un tramo de tubería abandonado**



Fuente: elaboración propia.

Se espera que el usuario realice una revisión o, al menos, que reporte la condición en la que se encuentra la red de aire comprimido, como parte del mantenimiento autónomo implementado en esta planta para maquinaria y debería incluirse para el mantenimiento de la red de tuberías. Una red en mal estado o deteriorada presenta signos, como carencia de aire, falta de potencia, incremento en consumos de energía eléctrica, desgastes de piezas y rendimiento en equipos neumáticos con el más evidente de todos los síntomas, la falta de presión en el sistema. Ante estos signos, es forzoso examinar el tramo de instalación bajo los siguientes criterios de diagnóstico:

- Se necesita un compresor adicional debido a que el aire comprimido que se genera es incorrecto o escaso.

- Mal dimensionamiento de la red de tubería, debido a una caída en la presión porque la capacidad que se necesita a la tubería no es acorde con el diámetro de tubería.
- Se presentan fugas de aire, ya sea en la red, equipos, mangueras, componentes, entre otros.

Para solucionar estos problemas, se debe calcular la suma total de consumos que alimenta la línea donde se presenta la deficiencia, listando los consumos unitarios por herramientas y se debe multiplicar por el coeficiente de simultaneidad para así saber el caudal de aire que debería de pasar por la línea con el problema. Si la tubería cuenta con metros equivalentes en codos, curvas, tees, entre otros, se deberán añadir esos metros en tubería. Con esto se determina si se cuenta con el diámetro necesario para transportar este caudal. Si la tubería no cuenta en lo absoluto con el caudal-diámetro necesario, lo mejor será reacondicionarla cambiando la tubería sin importar tiempo o trabajo ya que posteriormente se verá el beneficio del cambio e inversión efectuado.

Otra solución podría ser realizar constantemente revisiones tanto en la red como en accesorios, para detectar las deficiencias en la red ya que fugas en los mismos pueden representar entre el 20 % y 30 % de pérdida de presión de la producida por los compresores, lo cual equivale a una pérdida muy significativa de aire comprimido para cualquier industria que utiliza este recurso en sus operaciones.

Para comprimir 1 m³ de aire a 7 bar se requiere de 6 KWh, con el dato relacionado con el número de fugas detectadas a primera vista, se obtiene que la energía consumida se aproveche inútilmente. Reducir las fugas significa ahorro en KWh constantemente, un simple cambio en un componente deteriorado de la red incide en esto, siempre será más económico invertir en

estos pequeños cambios a tener una red donde constantemente prevalezcan las fugas.

Si el problema no es el diámetro de las tuberías, ni fugas de aire, pero prevalece la baja presión en el aire, se necesitará de otro compresor. Para saber el caudal se deben conocer los litros/minuto que el compresor actual genera, según manual de fabricante. Posteriormente, se replantea el cálculo de consumo de aire en la planta, como si se tratara de la implementación de una nueva red. Este consumo se multiplicará por el coeficiente de simultaneidad, tomando en cuenta posibles fugas de aire y una expansión futura.

Con la cifra obtenida, se comparará con la que se tiene que produce el compresor o compresores actuales y la diferencia entre ellas dirá la cantidad de aire que se añadirá para satisfacer la demanda de aire.

3.8.2. Examen económico de la pérdida de presión

Se ha mencionado que las pérdidas de presión, fugas de aire y demás situaciones provocan insuficiencia en el sistema de distribución de aire comprimido. En este capítulo se analiza el rendimiento a una presión de trabajo entre 6 y 7 bares, la cual ayudará en la obtención del máximo rendimiento en la operación de las herramientas y equipos neumáticos. Entonces, si la presión cae por debajo de estos valores, la potencia de las herramientas, disminuirá considerablemente.

Para comprobarlo se debe medir la presión lo más cercana posible al punto de utilización. De esta forma se obtiene un dato real y no erróneo por haber decidido medir en un punto muy lejano o en otro punto no será el mismo valor.

Cuando se aumenta una presión de 5 a 6 bares, la potencia en aumento disponible en la herramienta (considerada de tipo medio) es de aproximadamente un 37 % más según la curva de rendimiento en función de la presión, figura 8. Para ejemplificar lo dicho y notar la importancia de un punto de alimentación con un rendimiento máximo de caudal suministrado en herramientas se plantea lo siguiente:

Como muestra se toma una línea con 10 operarios empleando herramientas en un ensamble durante ocho horas de jornada laboral por día. Los costos de mano de obra e indirectos son de Q 250,00 por hora, traducido a tiempo de trabajo sería $250 \times 10 \times 8 = Q 20\,000,00$ por día, y si se aumenta la producción un 20 % de los Q 20 000,00/día o sea da Q 4 000,00 por día.

O bien, si 10 herramientas consumen un promedio de 850 litros de aire por minuto en una red en malas condiciones de baja presión, pero si el consumo de aire y presión fuera la correcta alcanzaría un valor de 1 130 litros/min, así se desarrollaría toda la potencia con un 10 % de producción suplementaria. Esto quiere decir que para obtener el mismo rendimiento en las herramientas en el caso de baja presión que en el caso de presión óptima, sería necesario un suplemento de 280 litros/min diarios de aire para cada una de las 10 herramientas lo que hace un total de 2 800 litros/min como capacidad real. Entonces se necesitarían 2 800 litros/min en vez de 1 130 litros/min que empleamos cuando tenemos una presión de trabajo normal (de 6 a 7 bares).

En conclusión, si una presión de 6 bares es imposible de mantener en dicha red por una mala instalación, hay dos formas de proceder: aceptar el mal funcionamiento de herramienta reportado por los usuarios debido a la baja presión de la recomendada, o se ajusta el caudal de entrega de compresor a uno mayor de lo normal incrementando el gasto de energía en el compresor.

3.8.3. Estudio económico de la pérdida de aire por fugas

La pérdida de aire por fugas es común e inevitable en un 100 % para cualquier red de aire comprimido, puede que sea incontrolado perdiendo volumen sorprendentemente alto y es difícil encontrar el lugar donde se presenta la fuga ya que el aire es invisible e inodoro. Cuanto más grande sea la fuga más fácil será de detectar debido al ruido que genera o igual representa una gran caída en la presión de todo el sistema.

Pero si se trata de una fuga pequeña o mínima, no es detectable en seguida, ya que su pequeñez la hace ser no tan importante, según algunos criterios, y puede que en un sistema exista solo una, lo cual en cierto sentido sea aceptable, pero si hay más de alguna ya representará una gran caída de presión la cual repercutirá en el rendimiento de la red. La red de la planta es considerada como una red antigua, la cual no ha sido mantenida bajo mucha supervisión, puede que sus escapes se consideren con en un 15 % al 25 % de la capacidad total de los compresores existentes, con un gasto considerable de mantenimiento de las instalaciones de la distribución de la red, esta cifra podría disminuir en un 5 % al 10 % de la capacidad de los compresores.

Con un agujero de 2 a 3 mm de diámetro representará una pérdida de aire continua el cual al parecer pareciera insignificante pero no lo es, ya que para comprimir a 6 bares un caudal de aire, se necesitarían unos 15 CV de potencia, por lo tanto, significa que consumiría la cantidad total de aire entregada por el compresor a esa potencia. En la siguiente tabla se muestran las pérdidas de aire con una presión de 6 bares, en m^3 / min , así como la energía necesaria para compresión según el diámetro de orificio de fuga.

Tabla XIV. **Energía necesaria para compensar fugas**

Diámetro del agujero	mm	1	3	5	10
Fugas de aire a 6 bar	N m ³ /min	0,66	0,6	1,6	6,3
Energía necesaria para la compresión	CV	0,4	4,2	11,2	44
	W	0,3	3,1	8,3	33

Fuente: TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7.* p. 54.

El volumen que representan las fugas de aire en una instalación se calcula en un día no laborable dejando conectadas todas las herramientas y máquinas neumáticas. Se toma como patrón de medida la capacidad de los compresores o compresor instalados, se ponen en marcha y se dejan en funcionamiento hasta que abastezcan toda la red a la presión de trabajo de 7 bares, una vez alcanzada la presión deseada, el compresor se detiene y se controla con un cronómetro el tiempo que el compresor trabaja en vacío. Debido a las fugas en la red se puede notar como poco a poco va disminuyendo la presión hasta alcanzar valores entre 5 o 6 bares, y luego nuestros compresores empiezan a trabajar de nuevo. Además, se anotará el tiempo en que tarde en volver a dispararse, para saber el tiempo exacto que se toma de pérdida de aire comprimido por fugas, y repitiendo varias veces esta prueba se promedia para encontrar el valor medio más preciso.

Para calcular el aire desperdiciado por fugas se aplica una formula basada en lo descrito:

$$Q = q \cdot t / T \text{ en N m}^3 / \text{min}$$

Donde:

Q = caudal de aire desperdiciado

q = caudal de aire suministrado por el compresor

t = tiempo del compresor en funcionamiento

T = aire desperdiciado por fugas durante un tiempo

El caudal de un compresor es de $60 \text{ N m}^3 / \text{min}$ y por pérdidas de aire por fugas un 30 % del aire comprimido producido por el compresor, lo cual equivaldría a $18 \text{ m}^3 / \text{min}$. Si se reducen dichas pérdidas en un 10 %, el valor resultaría de un $6 \text{ m}^3 / \text{min}$. La resta entre ambas es de $12 \text{ m}^3 / \text{min}$, el cual con solo un mantenimiento frecuente se podría reducir a este valor en pérdidas de aire. Suponiendo que el tiempo de funcionamiento fuese 212 horas al mes, y el gasto de potencia en el compresor se estimase en un $0,089 \text{ kWh-m}^3$, el ahorro en energía con la reducción de pérdidas sería de:

$$212 \times 12 \times 60 \times 0.089 = 13,585 \text{ kWh}$$

Si se multiplica por el precio vigente del kW representará un valor monetario considerable. Es importante contar con un plan de mantenimiento preventivo y autónomo de las instalaciones neumáticas para controlar las pérdidas de aire por fugas. Para asegurar el funcionamiento continuo de los compresores se les debe proveer servicios a intervalos estipulados y tener en cuenta emplear herramientas adecuadas, leer y seguir las instrucciones del manual de mantenimiento de cada compresor, contar con personal competente para utilizar el equipo, tener un inventario de repuestos que han sido recomendados y leer e interpretar instrucciones de seguridad.

3.8.4. Operación y mantenimiento de accesorios

Estos componentes dentro de la red neumática también son importantes ya que aportan en el mejoramiento de la calidad del aire comprimido entregada por los compresores.

Estos accesorios cumplen funciones, como regular caudales y presiones, lubricar equipos en la red, cambios de direcciones del fluido, y el impedimento del paso del flujo de aire.

Entre características que debería presentar la calidad del aire están la cantidad de aceite que pueda contener el aire, la cantidad de agua, el punto de rocío y la cantidad de partículas extrañas en el aire. Para anular o tratar de disminuir en una cantidad en altos porcentajes empleamos accesorios como:

- **Postenfriadores:** su objetivo es reducir la temperatura del aire luego de su compresión y disminuir la cantidad de agua contenida en el aire, ya que después de ser comprimido el aire se encontrara saturado y al tener un cambio en su temperatura presentara condensados por lo que si se utiliza esto se deberá instalar algún medio para atrapar los condensados que este genera. Normalmente funciona por medio de intercambio de calor entre un refrigerante y el aire comprimido.
- **Separadores centrífugos:** su objetivo es separar el agua que se ha condensado luego del proceso de enfriamiento del aire realizado por un postenfriador. Esto se logra debido a que atrapa las gotas de agua que son más pesadas que el aire, adhiriéndolas a las paredes de un recipiente cilíndrico vertical por un proceso de centrifugado.

- Válvulas de drenaje automático: su función es drenar los condensados ya sea en filtros, separadores centrífugos, tanques, entre otros. Estas válvulas se abren cada determinado tiempo para extraer el condensado, existen de varios tipos como mecánicas, de flotadores y electrónicas, siendo la última una de las más confiables ya que prácticamente es libre de mantenimiento y las otras requieren un mantenimiento más riguroso.
- Filtros: el propósito de ellos será el de mantener la red de aire con la más mínima cantidad de partículas extrañas tales como agua, aceites, polvos, partículas sólidas, olores, vapores, entre otros, que deterioren el sistema. Su mantenimiento es simple, basta con purgar los sedimentos o condensados, desmontar los depósitos y elementos filtrantes, limpiar, armar e inspeccionar juntos y reemplazar si se necesitan nuevas.
- Secadores: como se sabe, a causa del calor generado por el proceso de compresión del aire, este obtiene un grado de saturación en un 100 % en la mayoría de los casos, generando inevitablemente condensados que causan problemas como corrosión, mal funcionamiento en herramientas, entre otros. Existen de dos tipos, refrigerados y regenerativos. El mantenimiento de estos equipos es complicado debido a que están formados por muchos componentes, lo más recomendable es limpiar la unidad condensadora una vez por semana con aire comprimido seco, los elementos del filtro deben ser reemplazados una vez cada 3 a 6 meses, y contar y seguir indicaciones de manual de fabricantes para el mantenimiento para cada una de las pizas que lo conforman.

3.8.5. Tanques de almacenamiento

Amortiguan las pulsaciones del sistema de compresión, almacena una reserva de aire comprimido que ayuda a suministrar aire cuando hay mucha demanda. Impide que se requieran compresores sobredimensionados, ayuda a disminuir temperatura del aire comprimido colectando a su vez condensados y se instalan después de un posefriador. Su mantenimiento debe realizarse periódicamente ya que, por seguridad, se sabe que son bombas en potencia, se verifican estados de elementos de seguridad como manjole de inspección, sistemas de evacuación de condensados, manómetros, medidores de temperatura, entre otros. Además de realizar una limpieza interior del tanque y purgas.

3.8.6. Unidades de mantenimiento

Estas unidades presentan una combinación de componentes como filtro de aire, regulador de presión y lubricación del aire comprimido. Su objetivo principal es el de acondicionar un flujo determinado para su uso en máquinas o herramientas, su filtro elimina cuerpos extraños en el sistema de tipo sólido, el regulador de disminuir presión y el lubricador dosificar en ocasiones cantidades para equipos.

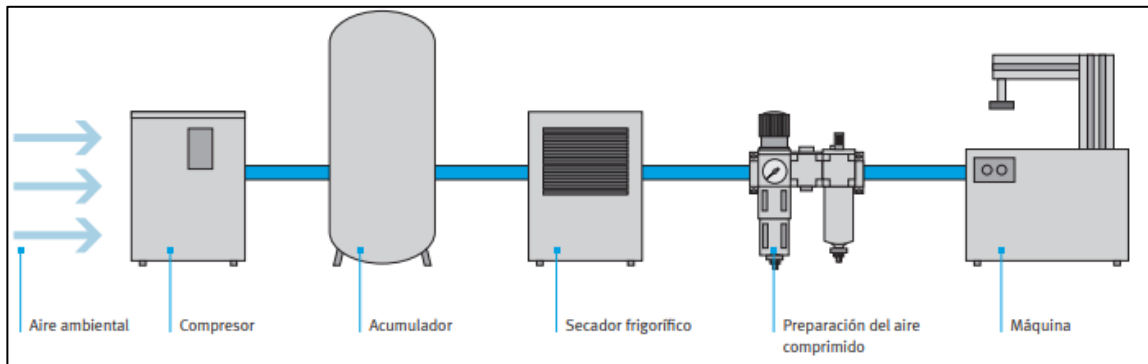
El mantenimiento de estos componentes es complicado comparado con otros elementos que conforman la red de aire comprimido. Normalmente se realizan pruebas a las unidades, como suministrar aire a altas presiones al regulador para verificar que dosifique la presión regulada en su entrada, y en su salida verificar que componentes como la calibración su resorte para soportar una máxima presión en salida verificando que no salga por la entrada, en conclusión efectos que debería de cumplir con su regulación en la presión.

Respecto a la lubricación que entrega, deberá mantenerse a nivel recomendado y contar con lubricante al alcance como principio de mantenimiento autónomo para rellenar el lubricante. Con los condensados, se debe realizar una purga periódica ya que si no se realiza este condensado puede ser aspirado y este llegaría al equipo o herramienta en aplicación.

3.8.7. Preparación y tratamiento del aire

El aire, por naturaleza, presenta impurezas sean líquidas o sólidas, además de restos de aceite procedente del compresor y vapor de agua. Esto puede afectar la vida útil y funcionamiento de componentes en la red de distribución de aire comprimido. Al contar con un aire preparado acorde a las necesidades especificadas para cada aplicación que en su mayoría requieren una alta pureza en este aire comprimido ayudará a aumentar la seguridad en los procesos y la de los productos. El aire comprimido se consigue al controlar que dicho aire se encuentre seco y limpio. Para llevar a cabo la preparación y tratamiento de este es recomendable utilizar elementos descritos en capítulos anteriores, como los filtros, secadores, unidades de mantenimiento, entre otros. Para alcanzar este nivel de pureza del aire comprimido en el sistema se montan los componentes combinados para que cumplan su función, se sigan sus etapas para cada aplicación que se necesite como se muestra en la figura siguiente.

Figura 16. **Recorrido del aire comprimido hasta el punto de consumo**



Fuente: KONELMANN, Adeline. *Libro blanco, preparación de aire comprimido en sistemas neumáticos*. p. 2.

3.8.8. Impurezas

Un metro cúbico de aire ambiental contiene impurezas que perjudican o disminuyen la vida útil de toda la red de aire comprimido en sí, pueden ser partículas de óxido o suciedad, residuos de agua y humedades las que causan corrosión en los componentes que conforman el circuito y destruyen los elementos neumáticos. Como consecuencia, filtros, separadores y otros tratamientos del aire son necesarios, antes de que lleguen al puesto o estación de trabajo, ya que cuando se comprime el aire ambiental, se multiplica la concentración de todas estas impurezas.

Para esto, se debe realizar limpieza periódica en filtros para reutilizarlo. De otra forma, deben cambiarse por nuevos, Estos elementos influyen en que el compresor o compresores se vean forzados a trabajar debido a que no pueden aspirar o impulsar el aire, por lo tanto aumentaran el consumo energético. La limpieza impide que se requiera de trabajos de mantenimiento y reparaciones que detengan la producción y, por los daños, causen fugas.

Figura 17. **Distintas impurezas en una red de aire comprimido (polvo, agua y aceite)**



Fuente: KONELMANN, Adeline. *Libro blanco, preparación de aire comprimido en sistemas neumáticos*. p. 3.

3.8.9. Tratamiento de la humedad

El aire atmosférico contiene cierta cantidad de humedad e impurezas las cuales dependen de la temperatura del aire y condiciones climatológicas del ambiente. Este aire será el aspirado por el compresor para posteriormente comprimirlo a una presión mayor. En un ciclo controlado de refrigeración, el aire caliente comprimido se conduce hacia un posenfriador para remover el calor producido por su compresión. Durante este proceso, el aire va perdiendo la cantidad de agua que contiene y el vapor, Estos se condensarán y dejarán agua excesiva en la red. Debido a esto es necesario purgar constantemente las trampas de condensados ya que no importará que tanta cantidad invirtamos en equipos de secado y compresión si de una u otra manera olvidamos el factor humedad en el sistema.

Para evitar esta humedad en la red, se debe contar con secadores de aire y trampas de condensados en el sistema. Luego, deben monitorearse, ya que

un mantenimiento incorrecto implicará un incremento del consumo de energía que puede aumentar en un 30 %. Este aire comprimido con alto contenido de humedad se someterá a secado por absorción (químicamente absorbido por sustancias secantes), por adsorción (proceso físico de adsorción por medio de un gel) y por enfriamiento (intercambio de calor con un refrigerante y el aire comprimido).

3.8.10. Mantenimiento de tuberías

El objetivo principal de la red de tuberías será entregar el aire comprimido a los puntos de aplicación sin pérdida de presión y libre de contaminantes. Una apropiada selección y estudio de los materiales para las tuberías, según la ubicación geográfica para que se adapte a las diversas presiones y humedades del ambiente ayudará a cumplir con este objetivo. Otro aspecto importante es que a mayores diámetros de tubería, se reducen las velocidades del aire, y por lo tanto, las turbulencias se minimizarán para anular en un alto porcentaje la pérdida de presión.

Además de esto, contar con un plan de mantenimiento preventivo asegurará también contar con un buen estado de las tuberías. Un alto porcentaje de fugas son provocadas por malos acoplamientos entre tuberías, altas humedades en el ambiente, mala colocación de accesorios como válvulas, y corrosión, las cuales producen una baja de rendimiento en la red. El tiempo recomendado de supervisión de estos elementos es cada 3 meses.

Tabla XV. **Características y prestaciones de materiales para tuberías**

Características de las tuberías	Acero Inoxidable	Acero negro	Cobre	Aluminio
Peso	Schedule 10 más ligero	Schedule 40 pesado	Ligero	Ligero
Vulnerable a la pérdida de presión generada por fricción.	No	Sí	No	No
Resistencia mecánica	Muy fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte
Fácil de instalar	Poca dificultad	Difícil	Poca dificultad	Fácil
Coste de instalación Material%/Mano de obra%	30 % / 70 %	25 % / 75 %	40 % / 60 %	80 % / 20 %
Resistencia a la corrosión	Si	No	Si	No
Herramientas especiales requeridas (soldador, enhebrado, fresa para ranuras)	Sí	Sí	Algunas (soldador)	No

Fuente: SCHANBHAG, Nitin. *Recomendaciones para las tuberías de aire comprimido de descarga del compresor y distribución en fábrica.* p. 3.

3.8.11. Mantenimiento de válvulas y accesorios

Se debe conferir importancia a las válvulas y sus accesorios como a cualquier otro elemento. En sus uniones con las tuberías también se generan fugas. También podría ser que sus elementos presenten deterioro en algún accesorio que implicaría un costo alto para la producción.

Con un mantenimiento autónomo implementado en la planta de equipos de refrigeración comercial, cada persona es dueña de una estación de trabajo estipulada, que en su mayoría, cuenta con una conexión al aire comprimido

para accionar cualquier herramienta neumática que necesiten para instalar algún componente, y por lo tanto, se podría revisar diariamente válvulas y accesorios de toda la red de aire comprimido para estar seguros de que se encuentra en óptimas condiciones y, si no se cuenta con este tipo de mantenimiento, el personal de mantenimiento de instalaciones deberá realizar el mismo procedimiento y aplicará supervisión constante. En la tabla siguiente se muestra, en resumen, el mantenimiento de algunos accesorios.

Tabla XVI. **Características y prestaciones de materiales para tuberías**

Accesorio	Mantenimiento
Válvulas de drenaje automático mecánico	Como consecuencia de la pérdida de sensibilidad por depósitos este tipo de válvulas requiere mantenimiento periódico.
Válvulas de drenaje automático de flotador	Este tipo de válvula de drenaje automático es menos susceptible de sufrir problemas por acumulación de contaminantes que la válvula de flotador, y como consecuencia el mantenimiento es menos frecuente.
Filtros	Se debe realizar cada seis meses, primero purgar los sedimentos y condensados abriendo convenientemente el grifo de la parte inferior del depósito y el elemento filtrante, Limpiar el vaso de depósito con agua jabonosa si es de nylon, tela o bronce sinterizado. Limpie el vaso de depósito y los conductos del cuerpo con parafina o con soluciones poco concentradas de disolvente. Se deben inspeccionar las juntas y reemplazarse por otras nuevas en caso de que estén malas.
Filtros de partículas, coalescentes y de carbón activado	Estos elementos son recambiables y deben ser reemplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.
Secadores refrigerados	El mantenimiento de estos equipos es complejo por que manejan muchos elementos, en caso de no tener catálogo de equipo seguir las indicaciones de mantenimiento recomendadas en cada una de las partes que conforman este equipo.

Continuación de la tabla XVI.

Tanques de almacenamiento	El principal aspecto es la seguridad, ya que estos elementos son bombas en potencia. El mantenimiento debe ser periódico, verificar el estado de los elementos de seguridad realizándose inclusive ensayos no destructivos tales como ultrasonidos y radiografías para verificar el óptimo estado de los mismos. También limpiar el interior del tanque.
Lubricador	Verificar el nivel de aceite y si es necesario, añadir hasta el nivel marcado. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con disolventes, dado que pueden dañarlos. Para los lubricadores, utilizar únicamente aceites minerales de viscosidad y componentes adecuados.

Fuente: DOMINGUEZ RÚA, Eugenio. *Monografía redes y líneas de aire comprimido*. p.30.

3.8.12. Medidas de seguridad

Esta investigación ha abordado el cuidado y mantenimiento de los componentes que conforman la red. Es importante recordar los riesgos de operar con aire comprimido, el cual es una corriente de aire concentrada con presión a alta velocidad. El operador puede sufrir lesiones graves o morir. Por ello, las instalaciones de cualquier planta que opere con el mismo debe contar con la seguridad necesaria y adoptar medidas preventivas precisas para evitar cualquier accidente o incidente dentro de las instalaciones. Algunas de las medidas que se pueden mencionar son:

- Seguir estrictamente las instrucciones de cualquier índole según manuales de fabricante para cualquier dispositivo que conforme la red de aire comprimido.

- No utilizar el aire comprimido para limpieza, ya existe un registro de los accidentes mortales que han sido provocados por usar pistolas de soplado para limpiar polvo o suciedades debido a que puede generar dispersión de estas partículas y el riesgo de que una burbuja de aire penetre en la circulación sanguínea y causen un trombo.
- Utilizar en todo momento el equipo de seguridad industrial como casco, guantes, mascarillas, lentes y tapones auditivos para hacer cualquier trabajo en el compresor.
- Retirar mangueras o elementos con fugas ya que estas se mueven descontroladamente y pueden causar lesiones, ruido excesivo, o pueden salir proyectados los distintos elementos al no resistir la presión del aire comprimido en elementos dañados.
- Contar con planes ante emergencias ocasionados por la red. realizando simulacros de catástrofes y manejo de situaciones por estos accidentes.
- Contar con extintores en distintos lugares dentro de la planta.
- El mantenimiento u operación de la red de aire comprimido debe ser utilizada únicamente por personal capacitado y contar con las herramientas adecuadas.


4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA

4.1. Formato de encuesta de opiniones

Como parte del estudio se pasó una encuesta para compilar la opinión de los usuarios, acerca de la red de aire comprimido en la planta de equipos de refrigeración comercial. A continuación, se presentan los formatos propuestos de encuesta y sus resultados.

Figura 18. Encuesta realizada a estudiantes

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería Mecánica



"Conocer el impacto en los usuarios de la propuesta para la planta de equipos de refrigeración comercial en el eficiencia de la red de aire comprimido"


Instrucciones: Subraye la opción que considere de su elección.

1. ¿Considera que el cambio de accesorios de calidad y soldadura en uniones han eliminado las fugas de aire en la red?
A. Si
B. No
C. Tal vez
2. ¿Cree que la participación de los usuarios en el mantenimiento de la red de aire comprimido ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones de operación?
A. Si
B. No
C. Tal vez
3. ¿Cada cuanto tiempo considera que debería de realizarse el mantenimiento a la red de aire comprimido?
A. Anual
B. Semestral
4. ¿Considera que tiene la cantidad adecuada de tomas de aire y presión de aire necesaria para conectar sus herramientas y realizar su trabajo?
A. Si
B. No
C. Tal vez
5. ¿Considera que la red de aire comprimido en el estado actual está en su óptimo funcionamiento?
A. Si
B. No
C. Tal vez

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Encuesta 2 realizada a usuarios de la red**

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería Mecánica



"Conocer si la propuesta de rediseño para la red de aire comprimido es viable para llevar a cabo"

Instrucciones: Subraye la opción que considere de su elección.

1. ¿Considera que el rediseño de la red de tuberías que transportan aire comprimido ayudaría a hacer más fácil su trabajo?
A. Si
B. No
C. Tal vez
2. ¿Cree que llevar a cabo esta propuesta disminuiría los paros en producción por fallas en la misma?
A. Si
B. No
C. Tal vez
3. ¿Usted cree que se le da el uso idóneo a la red de aire comprimido?
A. Si
B. No
C. Tal vez
4. ¿Considera que es importante un ahorro energético asociado a una red de aire comprimido más eficiente?
A. Si
B. No
C. Tal vez
5. ¿Considera usted que el costo de mantenimiento del equipo que conforma la red de aire disminuiría con la implementación de esta propuesta?
A. Si
B. No
C. Tal vez

Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Metodología

La metodología utilizada para la recolección de datos y análisis estadístico se presenta a continuación.

4.1.2. Criterios de inclusión

Operarios que son usuarios de la red de aire comprimido de equipos de refrigeración comercial en aplicaciones para usos de herramientas, maquinaria, supervisores y gerentes.

4.1.3. Criterios de exclusión

- Operarios que no utilizan herramienta o maquinaria neumática en su operación.
- Operarios que se negaron a participar en la encuesta.

4.1.4. Población

De las 5 líneas de producción se tomará como población la línea C, la cual cuenta con más accesorios y por medio de inspección visual se nota que es la más deteriorada comparada con las otras. Esta línea está conformada por 75 personas entre las cuales hay operarios, líderes de ensambles, supervisores y gerente. Para ser más precisos y debido a la variabilidad de personal que se disponga al momento de realizar las encuestas por ausencias o permisos se tomará una población de 60 personas.

N= 60 personas

4.1.5. Muestra

La muestra poblacional que se estudió fue de 35 usuarios por las justificaciones que se mencionan para los criterios de selección de la población los cuales conforman un 58% de la población.

4.1.6. Recursos

- Físicos: boletas para la recolección de datos, instalaciones de la planta de equipos de refrigeración comercial.
- Humanos: usuarios que utilizan herramientas o maquinaria conectados en la red de aire comprimido en la planta de equipos de refrigeración comercial.
- Investigador: Ricardo Ayala Quirán, estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.1.7. Procedimiento

- Solicitud al gerente de mantenimiento y de producción para realizar la investigación de campo, encuesta a los operarios que desearan participar.
- Una vez se obtuvo la autorización se pasó la encuesta a los usuarios presentes en la planta de equipos de refrigeración comercial que estuvieran utilizando la red de aire comprimido.
- Los datos obtenidos se tabularon y procesaron en el programa Excel, incluyendo herramientas básicas, tablas y gráficas, para el posterior proceso analítico.

4.1.8. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis estadístico mediante elaboración de tablas y gráficas por porcentajes.

4.2. Impacto y resultados de la encuesta

A continuación, se presenta el análisis estadístico de la encuesta 1.

4.2.1. Impacto y resultado de la encuesta 1

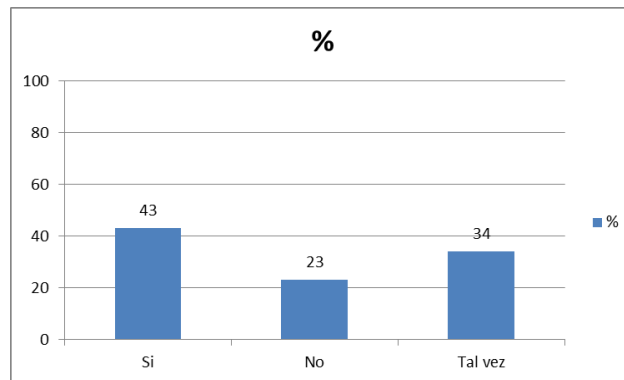
Los resultados obtenidos de la encuesta realizada fueron los siguientes:

Tabla XVII. **Un cambio en soldadura en uniones y de accesorios de calidad eliminarían las fugas de aire en la red**

Respuesta Pregunta núm. 1	Núm. operarios	%
Si	15	43
No	8	23
Tal vez	12	34
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Un cambio en soldadura en uniones y de accesorios de calidad eliminaría las fugas de aire en la red, respuestas pregunta núm. 1**



Fuente: elaboración propia.

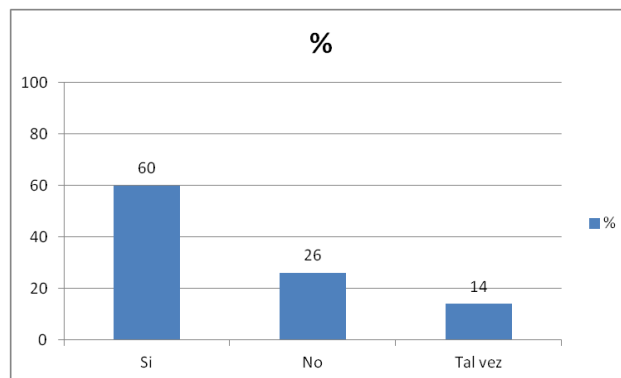
Interpretación tabla XVII y figura 19. El 43 % de los usuarios encuestados creen conveniente cambiar las uniones entre tuberías por soldadura en uniones y contar con accesorios de calidad en la red. El 34 % cree que esto quizá pueda mejorar la red, ya que no están seguros de si esto influirá directamente en la pérdida por fugas.

Tabla XVIII. **La participación de los usuarios en el mantenimiento de la red de aire comprimido ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones de la operación**

Respuesta Pregunta núm. 2	Núm. operarios	%
Si	21	60
No	9	26
Tal vez	5	14
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **La participación de los usuarios en el mantenimiento de la red de aire comprimido ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones de la operación, respuestas pregunta núm. 2**



Fuente: elaboración propia.

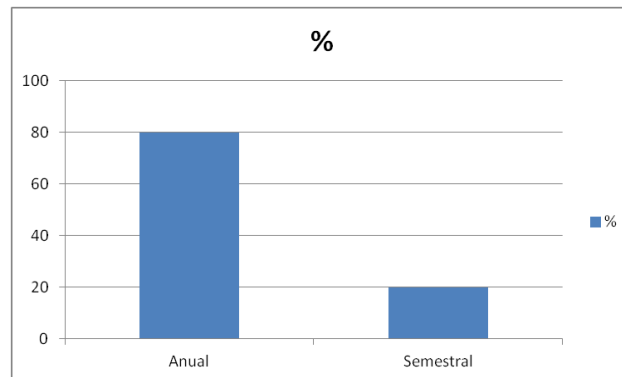
Interpretación tabla XVIII y figura 20. El 60 % de los encuestados consideran que los usuarios deberían participar en el mantenimiento de la red de aire comprimido para conocer mejor los cuidados y precauciones de su operación. El 14 % restante se encuentran indecisos ante tal pregunta.

Tabla XIX. **Tiempo necesario considerado para realizar mantenimiento a la red de aire comprimido**

Respuesta pregunta núm. 3	Núm. operarios	%
Anual	28	80
Semestral	7	20
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Tiempo necesario considerado para realizar mantenimiento a la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 3**



Fuente: elaboración propia.

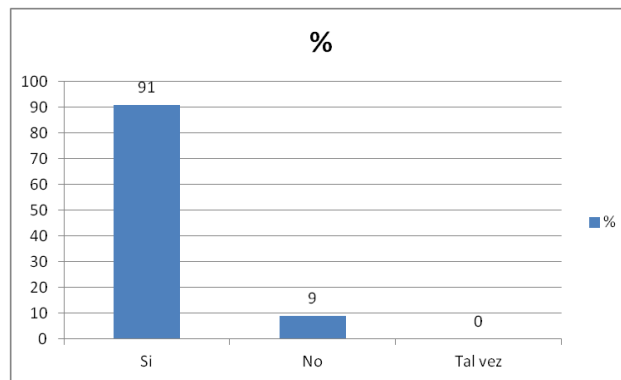
Interpretación tabla XIX y figura 21. El 80 % de usuarios encuestados prefieren que se realice el mantenimiento de la red de aire comprimido cada anualmente y un 20 % sugieren que es mejor realizarlo semestralmente.

Tabla XX. **Cantidad adecuada de tomas de aire y presión necesaria para conectar herramientas y realizar su trabajo**

Respuesta pregunta núm. 4	Núm. operarios	%
Si	32	91
No	3	9
Tal vez	0	0
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Cantidad adecuada de tomas de aire y presión necesaria para conectar herramientas y realizar su trabajo, respuestas pregunta núm. 4**



Fuente: elaboración propia.

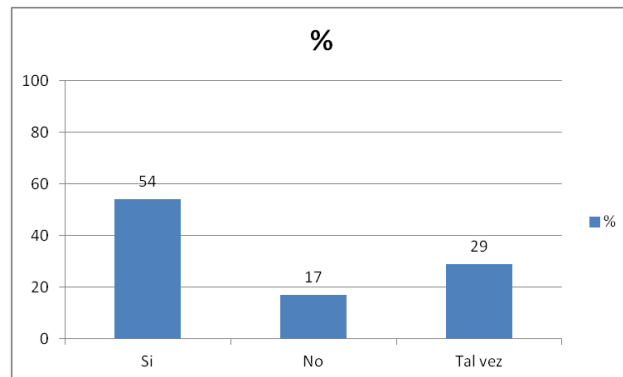
Interpretación tabla XX y figura 22. El 91 % cree que la presión y cantidad de tomas de aire son los necesarios para realizar su trabajo, mientras que el 9 % consideran que no son las necesarias y que la presión no es la adecuada.

Tabla XXI. **Se considera en óptimo funcionamiento la red de aire comprimido**

Respuesta pregunta núm. 5	Núm. operarios	%
Si	19	54
No	6	17
Tal vez	10	29
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Se considera en óptimo funcionamiento la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 5**



Fuente: elaboración propia.

Interpretación tabla XXI y figura 23. El 54 % cree que la red de aire comprimido se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento, mientras que el 29 % consideran que no es así.

4.2.2. Impacto y resultado de la encuesta 2

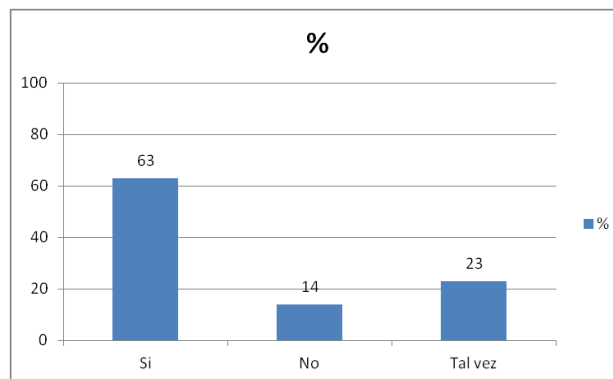
Los resultados obtenidos de la encuesta realizada fueron los siguientes:

Tabla XXII. **Considera que el rediseño de la red de tuberías que transportan aire comprimido ayudaría a hacer más fácil su trabajo**

Respuesta Pregunta núm. 1	Núm. operarios	%
Si	22	63
No	5	14
Tal vez	8	23
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Considera que el rediseño de la red de tuberías que transportan aire comprimido ayudaría a hacer más fácil su trabajo, respuestas pregunta núm. 1**



Fuente: elaboración propia.

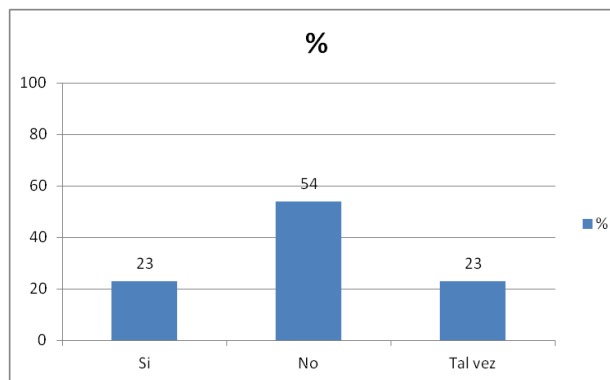
Interpretación tabla XXII y figura 25. El 63 % de los usuarios encuestados considera que al mejorar las condiciones de la red le ayudaría a facilitar su trabajo porque cumplirían con la demanda de aire comprimido que se necesita. El 23 % cree que esto tal vez pueda ayudarles, ya que piensan que solicitarían otras cosas para facilitar su trabajo. Y un 14% creen que no les ayudaría.

Tabla XXIII. **Llevar a cabo esta propuesta disminuiría los paros en producción por fallas en la misma**

Respuesta Pregunta núm. 2	Núm. operarios	%
Si	8	23
No	19	54
Tal vez	8	23
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Llevar a cabo esta propuesta disminuiría los paros en producción por fallas en la misma, respuestas pregunta núm. 2**



Fuente: elaboración propia.

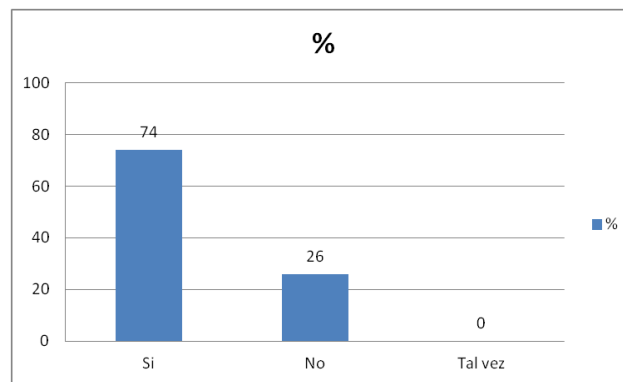
Interpretación tabla XXIII y figura 26. El 54 % de los encuestados considera que no se disminuirían los paros en producción ya que no es recurrente que existan paros por fallas en la red. Mientras que un 23 % opina que si ayudaría y un 23% piensa que un 23 % tal vez ayudaría de alguna forma.

Tabla XXIV. **Cree usted que se le da el uso idóneo a la red de aire comprimido**

Respuesta pregunta núm. 3	Núm. operarios	%
Si	26	74
No	9	26
Tal vez	0	0
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Cree usted que se le da el uso idóneo a la red de aire comprimido, respuestas pregunta núm. 3**



Fuente: elaboración propia.

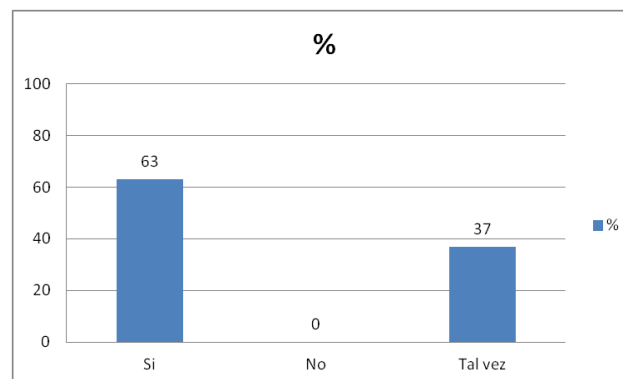
Interpretación tabla XXIV y figura 27. Un 74 % de usuarios piensa que si se le da uso idóneo a la red, mientras que un 26 % piensa que no se hace un buen uso de la red debido a que creen que se podría aprovechar para conectar de más herramientas en la red.

Tabla XXV. **Considera que es importante un ahorro energético asociado a una red de aire comprimido más eficiente**

Respuesta pregunta núm. 4	Núm. operarios	%
Si	22	63
No	0	0
Tal vez	13	37
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Considera que es importante un ahorro energético asociado a una red de aire comprimido más eficiente, respuestas pregunta núm. 4**



Fuente: elaboración propia.

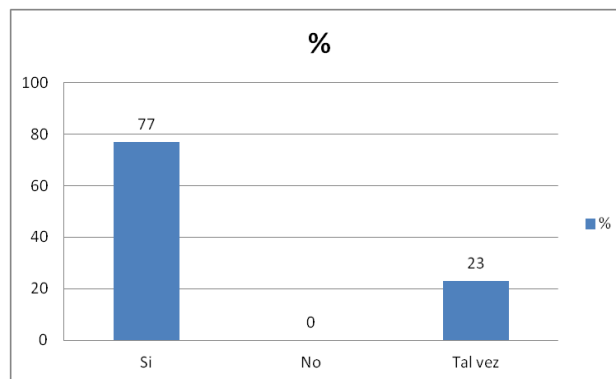
Interpretación tabla XXV y figura 28. El 63 % cree que es importante para la empresa considerar un ahorro energético porque se ayuda al medio ambiente y se generan menos gastos por consumo de energía eléctrica, mientras que el 37 % consideran que tal vez porque piensan que no sería un ahorro significativo.

Tabla XXVI. **Considera que el costo de mantenimiento del equipo que conforma la red de aire disminuiría con la implementación de esta propuesta**

Respuesta pregunta núm. 5	Núm. operarios	%
Si	27	77
No	0	0
Tal vez	8	23
Total	35	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Considera que el costo de mantenimiento del equipo que conforma la red de aire disminuiría con la implementación de esta propuesta, respuestas pregunta núm. 5**



Fuente: elaboración propia.

Interpretación tabla XXVI y figura 29. El 77 % piensa que si ayudaría a que los demás elementos que conforman la red tendrían un tiempo de vida útil más prologado, mientras que el 23 % consideran que no sería un ahorro significativo.

4.2.3. Discusión de resultados

La muestra estuvo conformada por 35 usuarios que trabajan y son usuarios de la red de aire comprimido en la planta de producción de equipos de refrigeración comercial, durante el ciclo 2019.

Del total de los 35 operarios de la encuesta 1, el 43 % cree conveniente que se cambien las uniones entre tuberías pro-soldaduras en las uniones y que se cambien accesorios por accesorios de calidad, el 60 % considera que participar en el mantenimiento ayudaría a conocer mejor los cuidados y precauciones para usar la red de aire comprimido pero por situaciones como falta de competencias necesarias para realizar el mismo prefieren negarse a hacerlo por temor a no realizarlo de la mejor manera. También, el 80% opina que la red de aire comprimido necesita mantenimiento al menos una vez al año ya que a través del tiempo no se ha venido realizando así, por otra parte, el 91 % de los encuestados piensan que la presión y cantidad de tomas de aire son las necesarias para realizar su trabajo. Además, el 54 % cree que la red de aire comprimido no se encuentra en óptimo funcionamiento debido a que han notado que hay muchas fugas presentes y tramos de tuberías en mal estado.

Para la encuesta 2, el 63 % de los usuarios encuestados considera que al mejorar las condiciones de la red le ayudaría a facilitar su trabajo porque cumplirían con la demanda de aire comprimido que se necesita, el 54 % de los encuestados considera que no se disminuirían los paros en producción ya que no es recurrente que existan paros por fallas en la red, un 74 % de usuarios piensa que si se le da uso idóneo a la red, el 63 % cree que es importante para la empresa considerar un ahorro energético porque se ayuda al medio ambiente y se generan menos gastos por consumo de energía eléctrica, el 77 % piensa

que si ayudaría a que los demás elementos que conforman la red tendrían un tiempo de vida útil más prologado.

CONCLUSIONES

1. El análisis inicial a la red de aire comprimido permitió evidenciar las condiciones en las que se encuentra, y efectivamente es una red de aire sujeta a muchas mejoras, ya que cuenta con distintos diámetros de tuberías en varios tramos de la red principal, grandes cantidades de accesorios, cambios bruscos de dirección, tramos de tuberías que ya no se utilizan y no han sido eliminados, y en ciertos puntos se encuentra deteriorada, por otra parte también se pudo apreciar que la sala de compresores se encuentra en buen funcionamiento ya que el departamento de mantenimiento pone énfasis en las máquinas pero no tanto empeño en la red de aire comprimido, ya que ha crecido bastante a través del tiempo sin una planificación adecuada.

Con base al resultado del análisis, se planteó la propuesta teórica para conseguir el estado óptimo de funcionamiento.

2. Según información teórica recolectada de distintas fuentes, como tesis de investigación sobre redes de aire comprimido, libros de diseño de redes de aire comprimido, fichas técnicas de equipos utilizados que demandan aire comprimido, entre otros. Se logra certeramente conocer, diagnosticar y diseñar una red eficiente.
3. Con esta propuesta se estima un ahorro en energía por reducción de pérdidas en un 10% de 13, 585 kWh siempre y cuando se tenga un plan de mantenimiento frecuente para lograr reducir este valor de pérdidas de aire por fugas. También se propone aumentar el diámetro de tubería y

eliminar tuberías obsoletas y se concluye que los compresores de aire que suministran la red cuentan con una capacidad adecuada para un crecimiento en la demanda de aire comprimido en un 50%.

4. Los resultados de la encuesta 1, nos mostraron que los usuarios de la red de aire comprimido estarían dispuestos a participar en el mantenimiento de la misma significando una supervisión periódica del estado de la red, con respecto a las tomas de aire y presión en el sistema los usuarios solicitaron más tomas de aire y requieren una mejor presión de aire especialmente en los puntos más alejados de la red pero según la justificación del jefe de mantenimiento de la empresa no se necesitan más tomas ya que la mayoría de veces solo se solicitan porque la mayoría de usuarios hacen cambios en herramientas y las quieren tener conectadas todo el tiempo de su jornada laboral, Con respecto del estado actual de la red, más de la mitad de los encuestados concluyó que no se encuentra en buen estado y es una red sujeta a muchas mejoras. De la encuesta 2 podemos concluir que la propuesta es viable en muchos sentidos como por ejemplo, ahorros energéticos y monetarios, además que ayudaría a ser una red más eficiente por las modificaciones que se proponen en este trabajo de graduación.

RECOMENDACIONES

1. Debido al crecimiento de la red de aire comprimido sin una planificación adecuada, y el análisis inicial a la misma, se evidenció que las condiciones están sujetas a muchas mejoras, se recomienda al gerente de mantenimiento de la planta elaborar y ejecutar un programa de mantenimiento para mantener la red en óptimas condiciones.
2. Se recomienda al gerente, jefe y supervisor de mantenimiento, considerar la demanda de aire de los equipos o herramientas que desean conectar a la red o suministro de aire y evaluar la capacidad de la propuesta basada en esta tesis.
3. Se recomienda al gerente, jefe y supervisor de mantenimiento, que el compresor o grupo de compresores que se debe tener cubra como mínimo $63,44 \text{ m}^3/\text{min}$ a una presión de 125 psi (8,62 bar) con porcentajes de consumo por pérdidas y posibles ampliaciones incluidos en el dato mencionado anteriormente para asegurar el caudal y presión deseado. Con respecto a el diámetro de tubería, se recomienda también que se inicie a realizar los cambios a un diámetro de tuberías estándar de 2 pulgadas y no variable como se tiene actualmente.
4. Tomar en cuenta la opinión futura de los usuarios con respecto al reporte de fugas, mal funcionamiento, caídas de presión, ente otros, para que se revise todo lo reportado y ayude al programa de mantenimiento de esta.

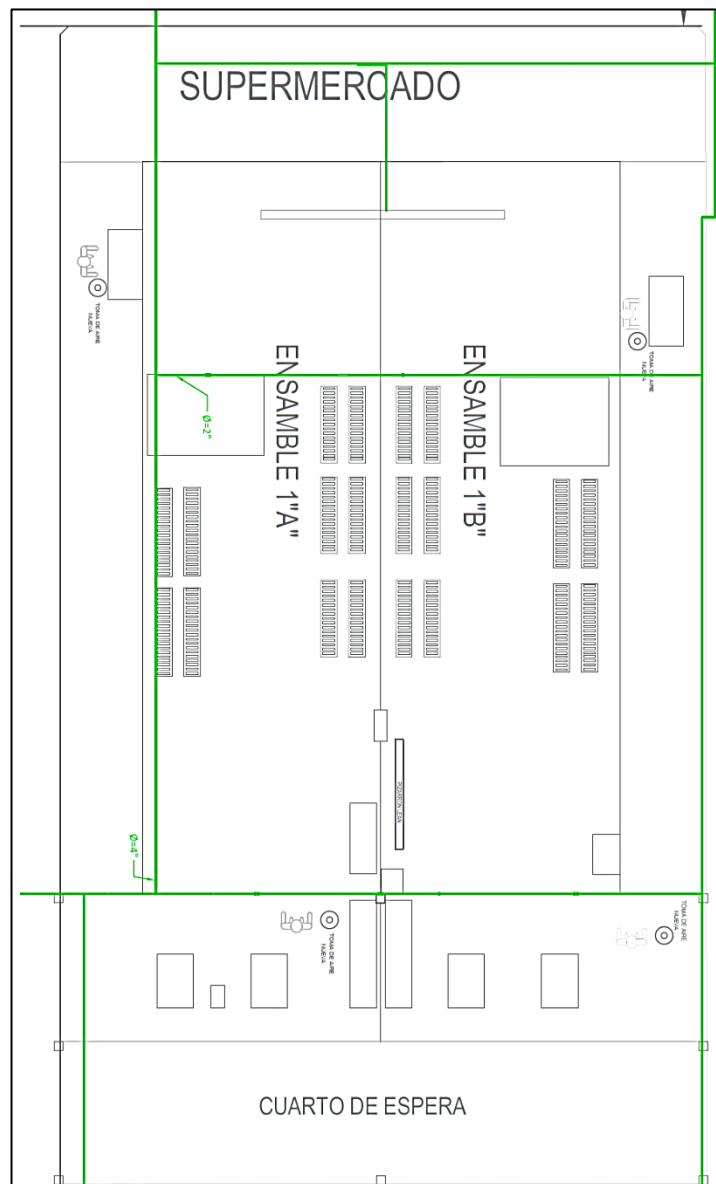
BIBLIOGRAFÍA

1. BONILLA GUTIÉRREZ, José Miguel. *Diseño de la red principal de aire comprimido de la planta Cemex*. Colorado, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial. 2014. 144 p.
2. CASTILLO APOLO, Juan Pablo. *Rediseño y montaje de un sistema de aire comprimido a 40 BAR de presión para líneas de soplado de botellas*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, 2009. 129 p.
3. DELGADO MELGAR, Joanne Stephany. *Diseño del sistema de aire comprimido para la planta de autoabastecimiento de paneles de madera de la fundación Techo Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014. 161 p.
4. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2010. 634 p.
5. KONZELMANN, Adeline. *Preparación de aire comprimido en sistemas neumáticos*. [en línea]. <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/373496/WhitePaper_airprep_MS_es.pdf>. [Consulta: 4 de mayo de 2019].

6. MALDONADO CONDE, Marco Vinicio. *Rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de cocina y panadería Rest-O-Pan S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica: Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 89 p.
7. MUÑOZ RAZO, Carlos. *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis.* México: Pearson Educación, 2010. 323 p.
8. NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria.* México: McGraw-Hill, 2013. 624 p.
9. ROYO, E. Carnicer. *Aire comprimido, teoría y cálculo de las instalaciones.* Barcelona, España: Gustavo Gili, 1977. 315 p.
10. TAMARIZ VÉLEZ, Moisés Eduardo. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa de Mirasol S.A.* Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, 2014. 92 p.
11. TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 116 p.
12. URBINA BLANCO, Cesar Alberto. *Diseño de una red de aire comprimido para la planta de procesamiento de algodón de industria Cima Care ICC C.A.* Caracas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar, Coordinación de ingeniería mecánica. 2016. 77 p.

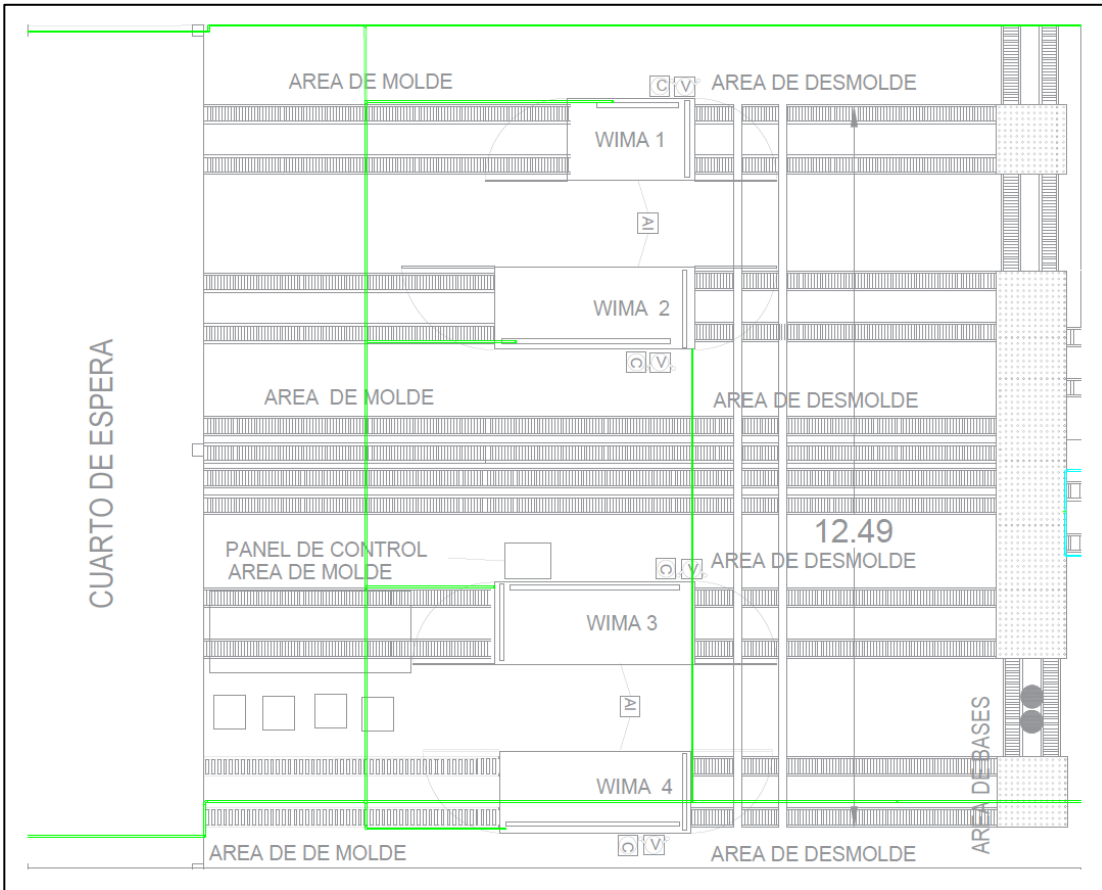
APÉNDICES

Apéndice 1. **Distribución de planta – ensambles 1, línea A & B**



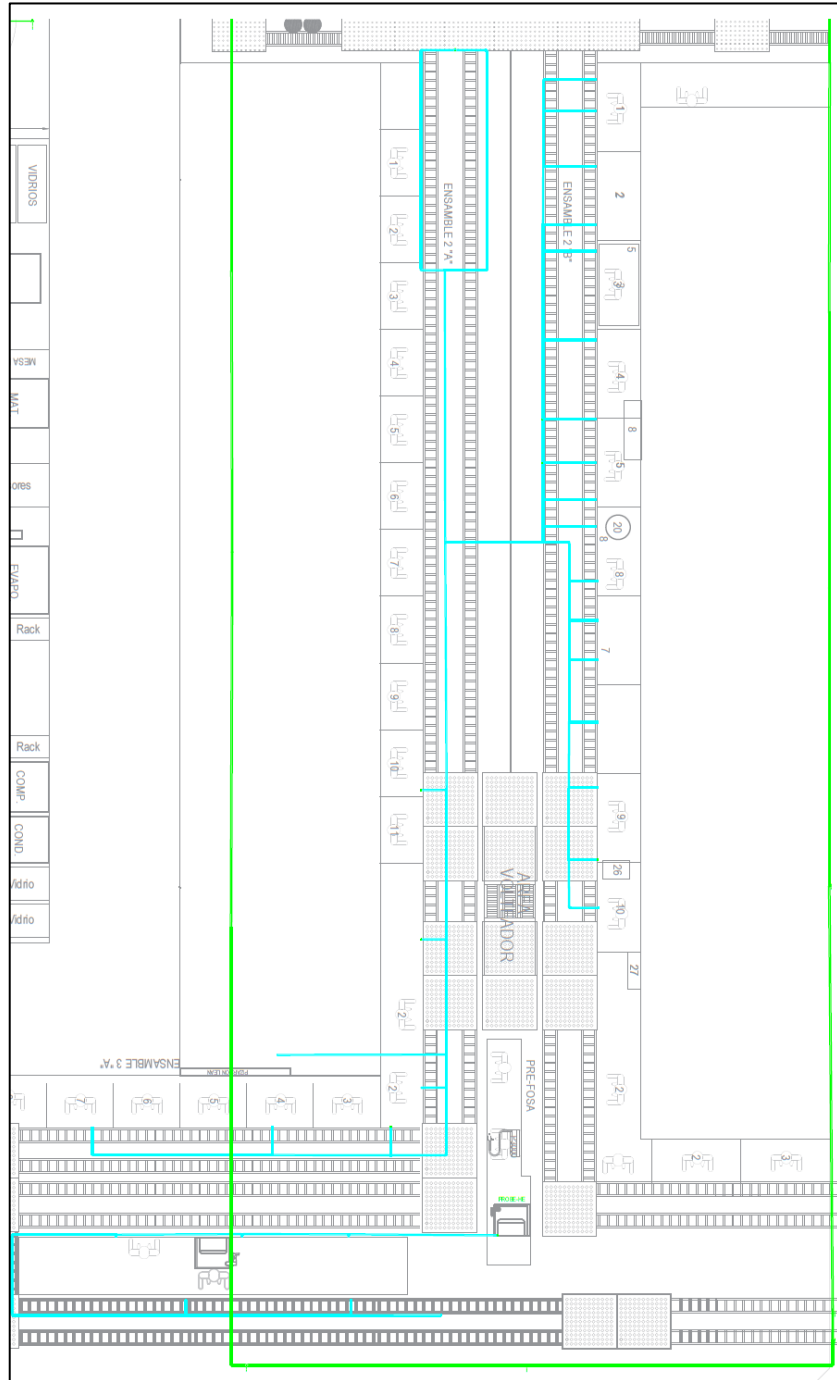
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 2. **Distribución de planta – área de Wimas de espumado**



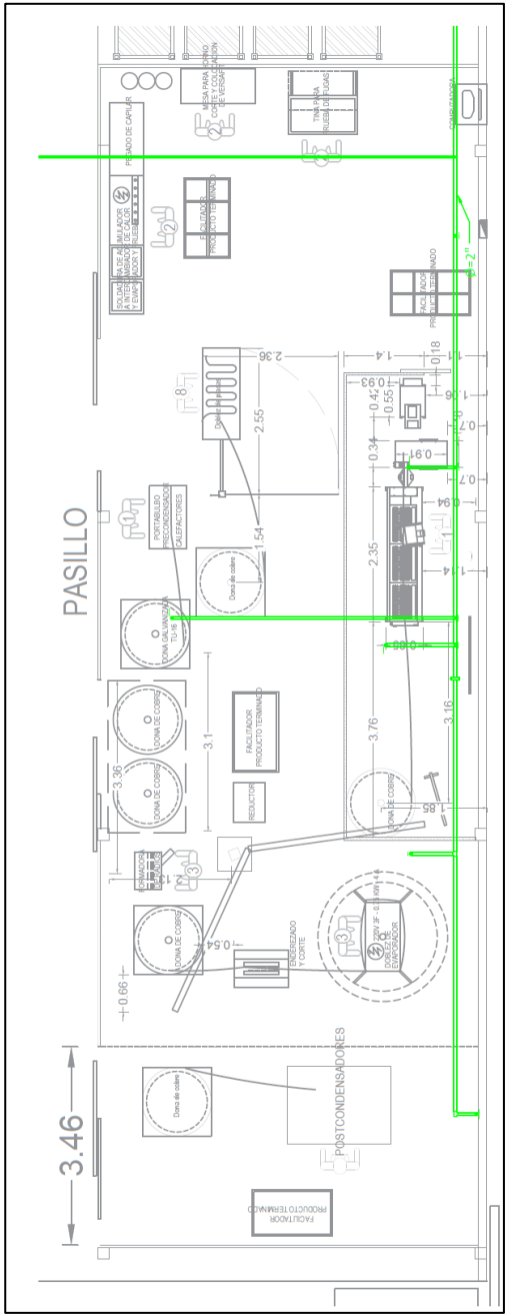
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 3. Distribución de planta – ensambles 2, línea A & B



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 4. **Distribución de planta – ensamble de tuberías de cobre y galvanizado**



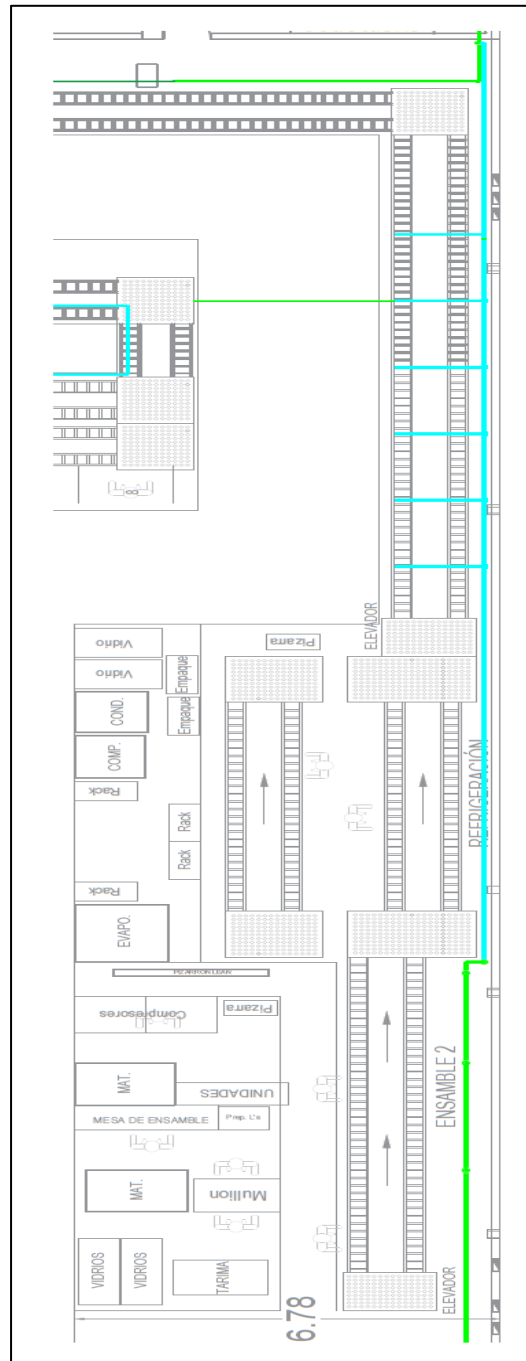
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 5. **Distribución de planta – ensamble 1 y espuma, línea D**



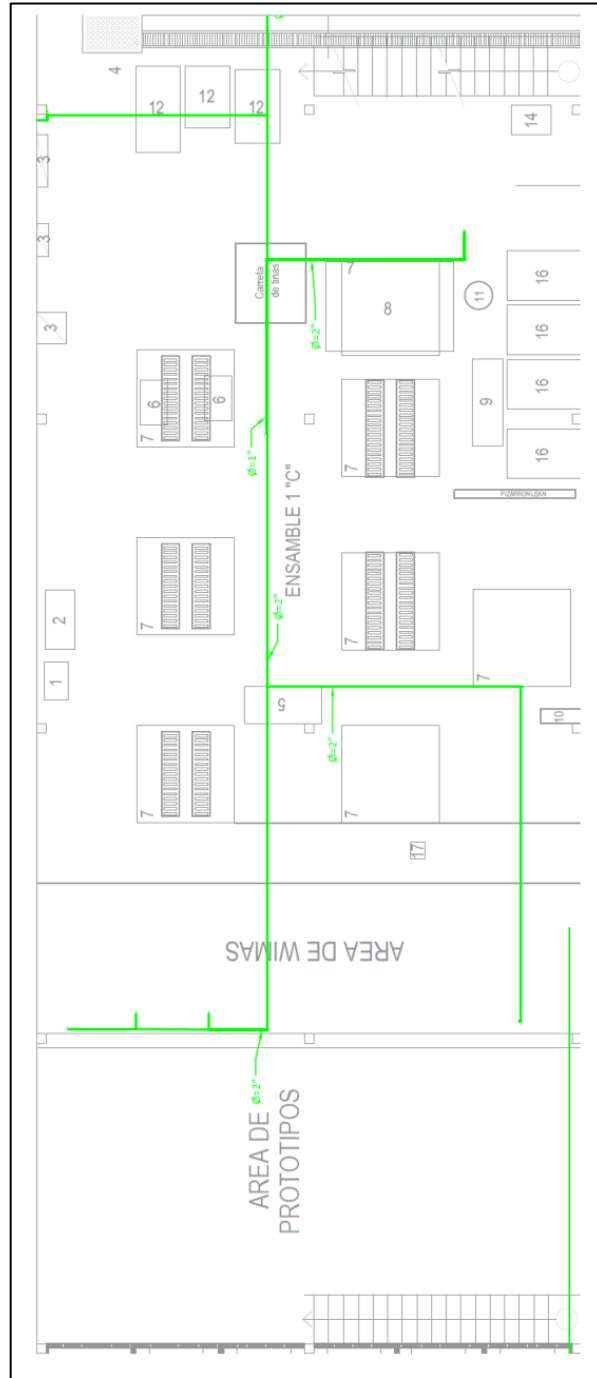
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 6. **Distribución de planta – ensamble 2 y refrigeración, línea D**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

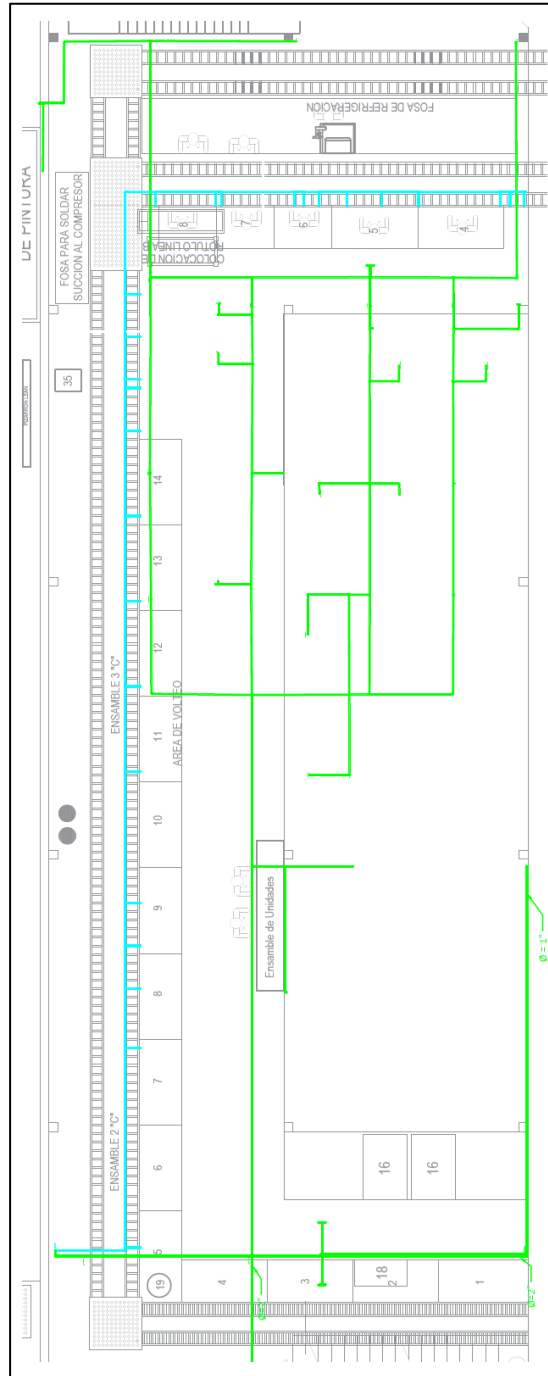
Apéndice 7. **Distribución de planta – ensamble 1, línea C**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

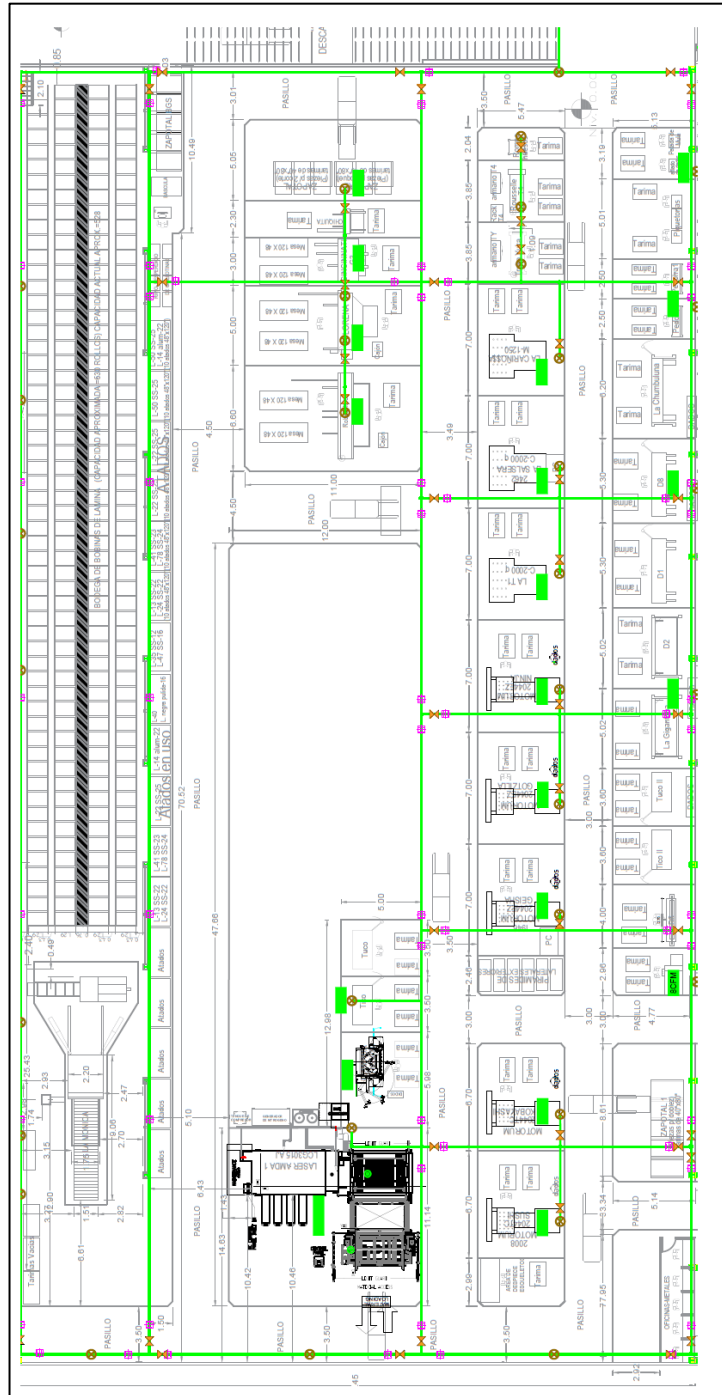
Apéndice 8.

Distribución de planta – ensamble 2 y 3, línea C



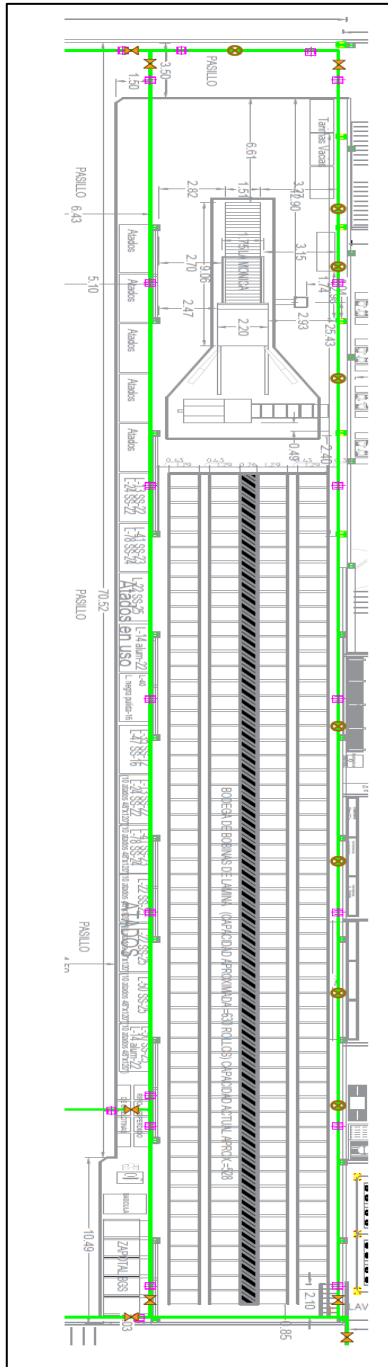
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 9. Distribución de planta – dobléz y troquel



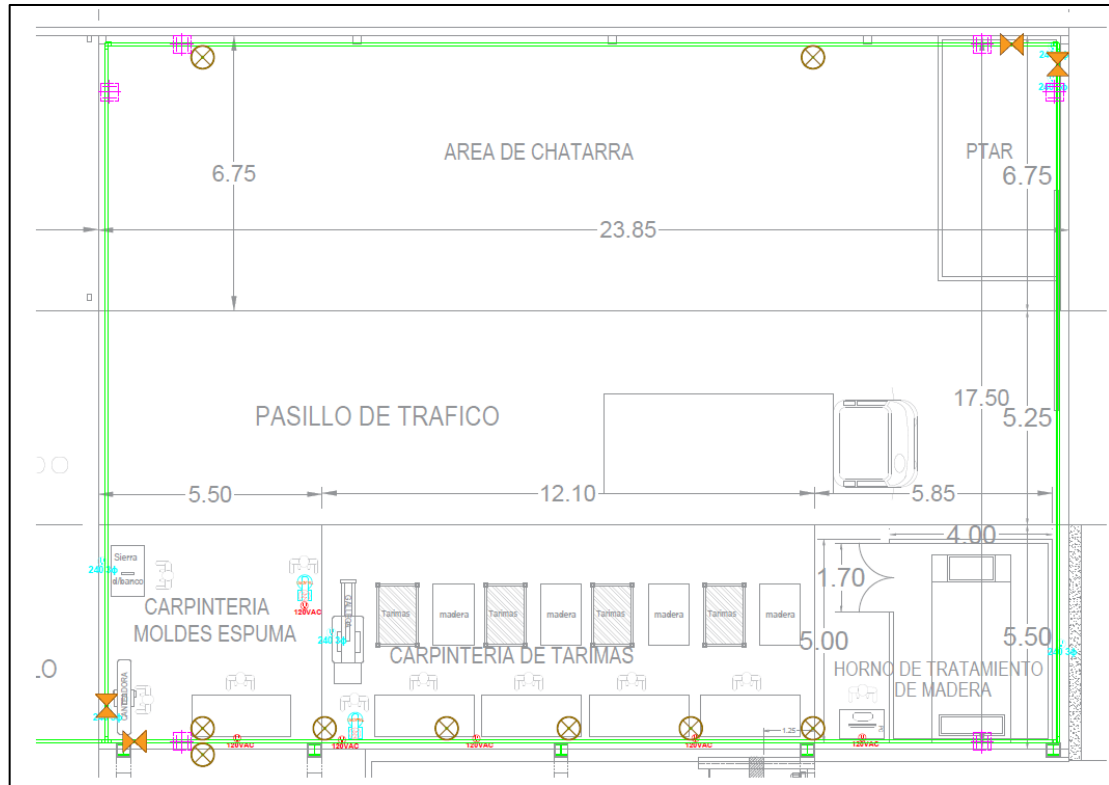
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 10. **Distribución de planta – bodega de lámina y corte**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 11. **Distribución de planta – carpintería de tarimas y chatarra**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 12. **Ficha técnica de los compresores**

KAESER COMPRESSORS		KAESER KOMPRESSOREN SE Carl-Kaaser-Str. 26 GERMANY - 96450 Coburg www.kaeser.com	
Tipo	BSD 50	Artículo-N°	101285.00080
Año	2014	Serie-N°	1016
psig	125.0	pcm	236
Voltaje	230Y/133 V		
Fases	3	Unidad APC	130
Hz	60	Motor de accion. APC	116
RPM	3570	HP	50.0
Corriente de corto circuito:	50 kA rms sym.	600 V max.	
Fusible de alimentación (Campo dado):	Clase AJT	600 Vac	175 A
Tipo de protección del gabinete:	Tipo 1		
Esquema	SBSD-U3010.01		
Para el servicio, referirse al número del equipo	5202854		
Opción	K1	C3	
MADE IN GERMANY	Identificación fábrica		CC

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Especificación del compresor



**Compresores de tornillo enfriados por aceite
con el eficiente PERFIL SIGMA**

- Series SXC hasta HSD, AIRCENTER
- Con controlador SIGMA CONTROL 2
- Opcionalmente con secador refrigerativo integrado (T)
o con convertidor de frecuencia variable (SFC)
- Sistemas de recuperación de calor para reciclar el calor generado

Caudal 0,26 – 86 m³/min

Presión 5,5 – 15 bar

Potencia nominal del motor 2,2 – 515 kW

Fuente: KAESER. *Compresores*. <http://www.trevialsr.com/files/Catalogo-Abanico-de-Productos.pdf>. Consulta: 3 de mayo de 2019.

Anexo 2. **Consumo de distintos de equipos y herramientas neumáticas**

Equipos	Tamaño o tipo ^a	Presión de aire [Psi]	Consumo de aire [scfm ^b]
Montacargas (Hoist)	1 ton	70-100	1
Pistolas de aire (blow guns)	-	70-90	3
Carretilla neumática (truck Lifts)	14.000-lb cap	70-90	10
Taladros (Drills, rotary)	¾"	70-90	20-90
Motor (Engine, cleaning)	-	70-90	5
Amoladoras (Grinders)	Diametro 8"	70-90	50
Pulverizador de pintura (Paint sprayer)	Para producción	40-70	20
Pulverizador de pintura (Paint sprayer)	De mano	70-90	2-7
Remachadoras (Riveters)	De ½" a 3"	70-90	50-110
Talladoras (Carving tools)	-	70-90	10-15
Lijadoras (Rotary sanders)	-	70-90	50
Cambiador de ruedas (Tire changers)	-	70-90	1
Inflador de ruedas (Tire inflaters)	-	70-90	11/2
Gato neumático (Tire spreaders)	-	70-90	1
Martillos neumáticos (Air Hammers)	Ligeros o pesados	70-90	30-40
Martillos de arena (Sand hammers)		70-90	25-40
Destornilladores (Nut setters, runners)	¼-in to ¾-in cap	70-90	20-30
Destornillador (screwdrivers)	Pequeño o grande	70-90	4-10
Enroscadores (Air bushings)	Pequeño o grande	80-90	4-10
Puertas neumáticas (Pneumatic doors)	-	40-9	2
Fresas de mango (File and burr tools)	-	70-90	20
Discos de freno (Rim strippers)	-	100-120	6
Botes de Spray (Body polishers)	-	70-90	2
Aspiradoras (Vacuum cleaners)	-	100-120	6
Pistola de arena (Sand Blasters)	Amplios rangos	90	6-400

a) 1 pulgada = 25.4 mm // b) scfm: pies cúbicos estándar por minuto = 0,472 Nl/s (1 pie.cúbico = 0.0283 m³)

Fuente: WordPress. *Cálculo de aire comprimido.*

<https://tecnicayateismo.wordpress.com/tag/calculo-de-aire-comprimido/>. Consulta: 3 mayo de 2019.