



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

## **OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX**

**Omar Giovanni García López**

Asesorado por el Ing. Julio César Rivera Peláez

Guatemala, septiembre de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**OMAR GIOVANNI GARCÍA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR RIVERA PELÁEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020



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. Christian moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Hector Santizo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Raúl Soto Obediente
SECRETARIA	Inga. Gilda Mariana Castellanos de Illescas

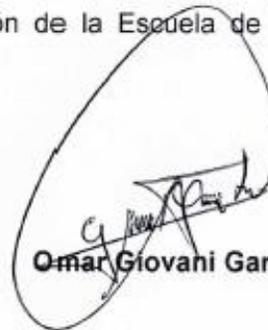


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 22 de octubre 2019.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Omar Giovanni García López'.

**Omar Giovanni García López**



Guatemala, 05 de febrero de 2020

Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante **OMAR GIOVANNI GARCÍA LÓPEZ**, con CUI **2523982620101**, y número de registro académico **199013272**, el cual lleva como título **OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX**.

En base a lo anterior, hago de su conocimiento esta información a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

Atentamente,



Julio César Rivera Peláez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 1225  
Asesor

ING. MECÁNICO INDUSTRIAL  
JULIO CESAR RIVERA PELAEZ  
COLEGIADO No. 1225



Ref.E.I.M.033.2020

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: **OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX** presentado por el estudiante **Omar Giovanni García López**, CUI **2523982620101** y Reg. Académico No. **199013272** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



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



Guatemala, febrero 2020





Ref.E.I.M.124.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX** del estudiante **Omar Giovanni García López**, DPI **2523982620101**, Reg. Académico **199013272** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Vo./Bo. Ing.



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre 2020

/aej





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24159101- 24159102**

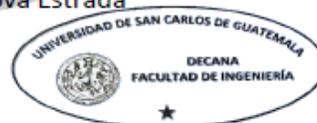
DTG. 244.2020.

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: **OPTIMIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA DEL LÁTEX**, presentado por el estudiante universitario: **Omar Giovanni García López**, 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, septiembre de 2020

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y la oportunidad de ser mejor persona cada día.
<b>Mis padres</b>	Por su amor, ejemplo, apoyo y confianza en mí.
<b>Mi hijo</b>	Por ser la razón que me impulsa para alcanzar mis metas.
<b>Mis hermanos</b>	Por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.
<b>Mis tíos</b>	Por sus consejos y ejemplo de vida.
<b>Mi amigo</b>	Ing. Luis Rodas por estar siempre presente.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme el privilegio de acogerme y formarme en todos los aspectos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todos los conocimientos adquiridos, base de mi vida futura.
<b>Ing. Julio César Rivera Peláez</b>	Por su asesoría, sabiduría y consejos para el desarrollo de este estudio.
<b>Látex de Centroamericana S.A.</b>	Por la oportunidad de realizar este estudio en sus instalaciones.
<b>Ing. Francisco Tobías</b>	Por su gestión, guía y apoyo dentro de la empresa.
<b>Señor José Sanjay</b>	Por su apoyo y sugerencias.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Neumática .....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Usos del aire comprimido en la industria .....	1
1.1.3. Principios físicos .....	2
1.1.4. Presión atmosférica .....	3
1.1.5. Simbología neumática .....	3
1.2. Compresores .....	7
1.2.1. Compresores alternativos .....	7
1.2.2. Compresores rotativos.....	7
1.3. Redes neumáticas .....	8
1.4. Industria del látex .....	9
1.4.1. Productos formados con látex .....	9
1.4.2. Industria del látex en Guatemala .....	10
1.5. Generalidades del equipo utilizado para producir aire comprimido .....	10
1.5.1. Identificación del compresor .....	11
1.5.2. Filtro de aire.....	11

1.5.3.	Tornillos.....	11
1.5.4.	Motor eléctrico.....	11
1.5.5.	Separador de aceite .....	12
1.5.6.	Filtro de aceite.....	12
1.5.7.	Intercambiador de calor.....	12
1.5.8.	Depósito de aire comprimido.....	13
1.6.	Instalación de tubería de aire .....	13
1.6.1.	Determinación del consumo del sistema.....	13
1.6.2.	Diseño del tendido de tubería.....	18
1.6.3.	Tabla de consumo por toma.....	19
1.6.4.	Inclinación .....	20
1.6.5.	Red abierta.....	21
1.6.6.	Red cerrada.....	22
2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA.....	23
2.1.	Análisis del sistema de distribución.....	23
2.1.1.	Condiciones de operación de las líneas de aire comprimido.....	23
2.1.1.1.	Redes o ramales principales .....	23
2.1.1.2.	Sistema de derivaciones o distribución .....	31
2.1.1.3.	Tomas o consumos .....	34
2.1.2.	Inspección del equipo y detección de fugas.....	36
2.1.2.1.	Inspección del equipo.....	36
2.1.2.2.	Fugas en el sistema .....	38
2.2.	Consideraciones previas .....	52
2.2.1.	Consumo específico.....	52
2.2.2.	Coeficiente de utilización.....	53
2.2.3.	Capacidad de los compresores .....	53

2.2.4.	Número de compresores .....	55
2.3.	Cálculo de cargas de aire en las áreas de trabajo.....	55
2.3.1.	Cálculo de cargas en sistema neumático central....	61
2.3.2.	Cálculo de cargas en área de mezclas .....	61
2.3.3.	Cálculo de cargas en área de hornos .....	62
2.3.4.	Cálculo de cargas en área de prensas .....	63
2.3.5.	Cálculo de cargas en área de <i>foamy</i> Eva .....	64
2.3.6.	Cálculo de cargas en área de sandalias y Puerto Rico .....	65
2.3.7.	Cálculo de cargas en área de laboratorio .....	65
2.3.8.	Cálculo de cargas en área de calderas .....	66
3.	ASPECTOS TÉCNICOS DEL EQUIPO DE AIRE COMPRIMIDO.....	67
3.1.	Tecnología para la producción de aire comprimido .....	67
3.1.1.	Compresores de tornillos.....	67
3.2.	Descripción del equipo .....	67
3.2.1.	Compresor marca INGERSOLL-RAND .....	68
3.2.2.	Compresor marca KAESER.....	70
3.3.	Localización.....	72
4.	PROPUESTA DE DISEÑO DEL CUARTO DE COMPRESORES .....	77
4.1.	Reubicación del cuarto de compresores.....	77
4.1.1.	Espacio físico.....	77
4.1.2.	Toma de aire y ventilación.....	78
4.2.	Reubicación de las tuberías .....	80
4.2.1.	Cambio de tanque acumulador.....	80
4.2.2.	Reubicación de tuberías .....	82
4.2.2.1.	Cálculo de diámetro de nuevos anillos .....	83

4.3.	Planos del cuarto de compresores .....	88
5.	ANÁLISIS FINANCIERO .....	89
5.1.	Costo de optimización de sistema de aire comprimido .....	89
5.1.1.	Secador frigorífico .....	89
5.1.2.	Costo de desmontaje de tubería antigua y montaje de nuevos anillos .....	93
5.2.	Costo integral del proyecto.....	96
5.2.1.	Costos fijos.....	96
5.2.1.1.	Mantenimiento de la red de aire comprimido.....	97
5.2.1.1.1.	Operación y mantenimiento de accesorios.....	97
5.2.1.1.2.	Estudio económico por la pérdida de aire por fugas .....	99
5.2.2.	Costos variables.....	100
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES .....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	APENDICES.....	107

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Símbolos neumáticos 1 .....	3
2.	Símbolos neumáticos 2 .....	4
3.	Símbolos neumáticos conversión de energía y cilindros .....	4
4.	Símbolos neumáticos válvulas de presión y distribuidoras .....	5
5.	Símbolos neumáticos accionamiento de válvulas .....	5
6.	Símbolos neumáticos de válvulas .....	6
7.	Símbolos neumáticos filtros, purgadoras y lubricadoras .....	6
8.	Tendido de tubería .....	19
9.	Inclinación en el sistema de aire comprimido .....	21
10.	Plano de distribución actual de la tubería de aire comprimido .....	30
11.	Sistemas de distribución 1 .....	31
12.	Sistemas de distribución 2 .....	31
13.	Sistemas de distribución 3 .....	32
14.	Sistemas de distribución 4 .....	32
15.	Pendiente de la tubería .....	33
16.	Pistola de aire comprimido con deficiencias 1 .....	35
17.	Pistola de aire comprimido con deficiencias 2 .....	36
18.	Trampa de condensado .....	37
19.	Especificaciones de trampa de condensado .....	37
20.	Tanque acumulador de aire comprimido .....	38
21.	Consumo específico .....	52
22.	Entrega de aire del compresor Kaeser BSD50 .....	54

23.	Entrega de aire compresor .....	55
24.	Instalación compresor Ingersoll-Rand.....	68
25.	Localización del área de compresores 1.....	73
26.	Localización del área de compresores 2.....	73
27.	Localización del área de compresores 3.....	74
28.	Localización del área de compresores 4.....	74
29.	Localización del área de compresores 5.....	75
30.	Localización actual del cuarto de compresores .....	76
31.	Funcionamiento de un compresor de tornillo .....	79
32.	Fórmula para dimensionar el tanque acumulador.....	81
33.	Propuesta de anillos para la nueva tubería.....	87
34.	Reubicación del cuarto de compresores.....	88
35.	Especificaciones técnicas del modelo de secador .....	91
36.	Especificaciones técnica.....	92
37.	Factores de corrección para condiciones operativas .....	92

## TABLAS

I.	Consumo del ramal No. 1.....	14
II.	Consumo del ramal No. 2.....	14
III.	Consumo del ramal No. 3 .....	15
IV.	Consumo del ramal No. 4 .....	16
V.	Consumo del ramal No. 5 .....	17
VI.	Resumen de consumo por ramales.....	18
VII.	Consumo teórico por toma de aire comprimido .....	19
VIII.	Ramal No. 1 .....	24
IX.	Ramal No. 2.....	25
X.	Ramal No. 3.....	26

XI.	Ramal No. 4 .....	27
XII.	Ramal No. 5 .....	29
XIII.	Consumo según número de ramal .....	34
XIV.	Fugas en el sistema por la empresa Kaeser .....	39
XV.	Fugas en el sistema identificadas .....	40
XVI.	Capacidad de los compresores .....	53
XVII.	Carga por áreas de trabajo .....	56
XVIII.	Consumo teórico por toma y porcentaje de consumo .....	60
XIX.	Cargas en área de mezclas .....	62
XX.	Cargas en el área de hornos .....	63
XXI.	Cargas en el área de prensas .....	63
XXII.	Cargas en el área de <i>foamy</i> Eva .....	64
XXIII.	Cargas en el área de sandalias y Puerto Rico .....	65
XXIV.	Cargas en el área de laboratorio .....	66
XXV.	Cargas en el área de calderas .....	66
XXVI.	Mantenimiento compresor Ingersoll-Rand.....	69
XXVII.	Mantenimiento del compresor Kaeser.....	71
XXVIII.	Datos de anillo No. 1 referencia diámetro de 0,0635m .....	84
XXIX.	Longitud equivalente anillo 1 .....	84
XXX.	Derivaciones de anillo No. 1 referencia diámetro 0,0127m .....	84
XXXI.	Datos de anillo No. 2 referencia diámetro de 0,0635m .....	85
XXXII.	Derivaciones de anillo No. 2 referencia diámetro 0,0127m .....	85
XXXIII.	Datos para el cálculo.....	89
XXXIV.	Características del secador.....	90
XXXV.	Costo de operación y compra .....	91
XXXVI.	Condiciones de operación para el tanque .....	93
XXXVII.	Costos de montaje .....	94
XXXVIII.	Costo de construcción de cuarto, reubicación de equipos, obra civil ...	94
XXXIX.	Costos de instalaciones eléctricas .....	95

XL.	Resumen de costos de optimización .....	96
XLI.	Datos de producción de aire comprimido.....	98
XLII.	Resumen por área .....	100

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Delta$	Cambio
CFM	<i>Cubic feet minute</i> , medida de caudal
$\emptyset$	Diámetro
USD\$	Dólares estadounidenses, moneda
Gal	Galones, medida de volumen
°	Grado de temperatura (Celsius)
h	Hora
kW	Kilowatt
L	Litros, medida de volumen
m	Metro, medida de longitud
mm	Milímetro, medida de longitud
Pa	Pascales, medida de presión
ft	Pie
Psi	<i>Pound Square Inch</i> , medida de presión
“	Pulgada
Q	Quetzales, moneda
S	Segundos, medida de tiempo
UM	Unidad de medida (abreviatura)



## GLOSARIO

<b>Caudal</b>	Cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,) por unidad de tiempo.
<b>Codo (tubería)</b>	Accesorio de tubería que tiene una curva a 90 grados, empleada para desviar la dirección recta de la misma.
<b>Látex</b>	Líquido blanco o crema cuyo principal constituyente es el caucho.
<b>Longitud equivalente</b>	Consiste en valorar la cantidad de metros de tubería recta del mismo diámetro producen una pérdida de carga continua que equivale a la pérdida que se produce en el punto singular.
<b>Manómetro</b>	Instrumento utilizado para la medición de presión.
<b>Neumática</b>	Energía que utiliza el aire comprimido como un mecanismo para que accione una fuerza motriz determinada.
<b>Optimizar</b>	Conseguir que algo llegue a la situación óptima o dé los mejores resultados posibles.

<b>Pistola de soplear</b>	Es un implemento neumático que permite dirigir un chorro de aire a un punto y dirección determinado, esto se logra por medio de una válvula de botón o palanca que al accionarlo permite que salga el chorro de aire.
<b>Problema</b>	Se dará si el concepto es demasiado largo por lo que deberá corregir los tabuladores o utilizar su ingenio.
<b>Red neumática</b>	Es el conjunto de tuberías que conduce el aire comprimido a todos los elementos del sistema o circuito neumático.
<b>T (tubería)</b>	Componente recto, curvo, o en forma de <b>T</b> que se emplea para conectar dos tubos o conductos.
<b>Válvula</b>	Mecanismo que permite el paso o cierre de determinado flujo a un circuito ya sea neumático o hidráulico.
<b>Válvula de compuerta</b>	Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cual puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.

## RESUMEN

En el desarrollo de este estudio se realizó una optimización del sistema de aire comprimido dentro de la planta de Látex Centroamericana. Este estudio nace de las condiciones en las que se encuentra actualmente la planta, debido a que se encuentran cantidades significativas de condensado que sale de las líneas donde debe salir únicamente aire comprimido.

Actualmente la empresa cuenta con dos compresores para cumplir con la demanda de producción, uno trabajando de forma continua y el otro en condición de emergente, también se cuenta con un tanque acumulador de aire comprimido al cual no se le ha dado el debido mantenimiento. En las líneas de tuberías se identificaron 52 fugas, dentro de toda la planta, y las partes más afectadas son el área de prensas y el área de *foamy* Eva.

Se estima el diámetro óptimo para las tuberías y se considera el uso de una red cerrada con dos anillos para el sistema. El diseño del cuarto de compresores se realiza mediante la reubicación de los compresores y tamaño óptimo para el mismo, instalar un secador frigorífico de aire. Además, se propone la compra de un nuevo tanque acumulador de aire comprimido para evitar problemas por la utilización del tanque actual.

Este proyecto define tres puntos importantes con el fin de optimizar las líneas de aire comprimido dentro de la empresa. Estos son: reubicación del cuarto de compresores, instalación de un secador frigorífico de aire y reubicación de las tuberías principales. La reubicación del cuarto de compresores se realiza en base al espacio físico, toma de aire fresco y la

ventilación del sistema. Al implementar un secador se busca incrementar la calidad del aire a entregar. En el caso de la reubicación de tuberías se propone una red cerrada con dos anillos y el cambio del tanque acumulador.

# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio de optimización del aire comprimido en la planta de producción de látex en Guatemala

## Específicos

1. Describir el estado actual del sistema de aire comprimido en la planta.
2. Identificar fugas o pérdidas en el sistema de aire comprimido dentro de la planta.
3. Recolectar información de apoyo para sustentar el estudio.
4. Proponer el diseño del cuarto de compresores mediante la reubicación de tuberías y del tanque de aire comprimido.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala se inicia la producción de hule natural hace más de 50 años, en donde la primera asociación de productores de hule se crea en 1962 contando con la participación de 14 fincas. En la actualidad existen alrededor de 67 000 hectáreas cultivadas, en donde cerca de la mitad se encuentra en fase de producción y la otra mitad se encuentra en fase de crecimiento.

La empresa objeto de este proyecto tiene a su cargo producciones de guantes, gorras, tacones, suelas, neolites, *foamy* EVA, ginas. Además de productos de uso industrial como alfombras, protectores para gradas, telas ahuladas y material para la industria del reencauche.

El aire comprimido es utilizado desde aplicaciones que van del sopletear, limpieza, inflado de neumáticos hasta el uso de las maquinarias de producción. Este proyecto se aplica en las áreas de la planta de mezclado, horneado, prensado, *foamy* Eva, sandalias, laboratorio y calderas, así como en los sistemas periféricos para usos diversos.

La problemática más notoria en las líneas de distribución del aire comprimido es el agua dentro de las tuberías, por lo que es necesario analizar la distribución general del aire y el control de fugas en el sistema. Para posteriormente generar una propuesta de mejora dentro de la institución.



# **1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Neumática**

La neumática es una forma de transmitir energía por medio de gases, esta energía puede ser utilizada en diferentes aplicaciones entre las que se menciona el mover y hacer funcionar mecanismos.

### **1.1.1. Definición**

“La neumática se conoce como la técnica que requiere sobre conocimientos de aire comprimido, siendo las propiedades más relevantes, generación y distribución de la misma. Este aire comprimido provee la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.”<sup>1</sup>

### **1.1.2. Usos del aire comprimido en la industria**

Se conoce sobre el uso del aire comprimido desde hace varios siglos atrás. “El aire comprimido adquiere importancia industrial para la segunda mitad del siglo XIX. Se conoce también en el Viejo Testamento referencia al uso del aire comprimido en la fundición de metales, tales como plata, hierro, plomo y estaño.”<sup>2</sup>

“Se sabe con seguridad que el primero en utilizar aire comprimido para realizar trabajo y estudios de neumática fue el griego Ktesibios, porque escribió

---

<sup>1</sup> QUISHPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la industria*. p. 8.

<sup>2</sup> *ibid.* p. 9.

los primeros tratados acerca de este tema. Él construyó una catapulta basada en un cañón neumático que por medio de la operación manual comprimía aire en cilindros.”<sup>3</sup>

“La automatización de maquinaria mediante el uso de equipos neumáticos es un caso creciente, que generalmente implica que la inversión de capital sea relativamente baja. Estos elementos neumáticos pueden utilizarse en la manipulación de piezas tanto con movimientos lineales como rotativos.”<sup>4</sup>

“Actualmente en las instalaciones industriales se encuentran diferentes aplicaciones del aire comprimido. El aire comprimido se llega a considerar una cuarta utilidad industrial, al lado del agua, gas y electricidad. Esta es una de las fuentes de energía más subvaloradas ya que en algunas industrias llega a desperdiciarse hasta el 50 % de la producción.”<sup>5</sup>

### **1.1.3. Principios físicos**

“La compresibilidad es una de las características fundamentales que posee el aire comprimido. Este implica que el aire toma forma del recipiente que lo contiene, por lo que puede ser comprimido.”<sup>6</sup> “Debe de tomarse en consideración los conceptos de presión atmosférica, relativa, absoluta, las

---

<sup>3</sup> BUENACHE, Alejandro. *Teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web.* p.19.

<sup>4</sup> AGUILA, Carlos. *Diseño de un módulo didáctico para prácticas de neumática en el laboratorio de control industrial de la carrera de educación técnica de la facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación de la Universidad Central del Ecuador durante el período febrero - julio 2013.* p. 16.

<sup>5</sup> *ibid.* p. 11.

<sup>6</sup> QUISHPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la Industria.* p. 8.

propiedades de la mezcla de gases, la relación de los gases ideales, y conceptos como la humedad.”<sup>7</sup>

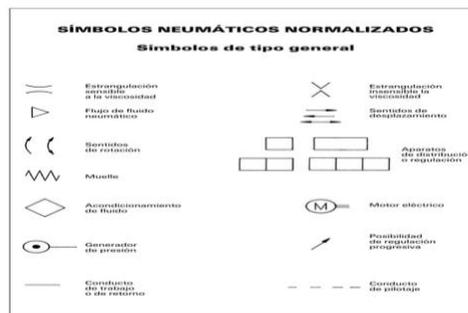
#### 1.1.4. Presión atmosférica

En la atmósfera se contiene el aire, el cual se compone de nitrógeno en un 78 %, oxígeno en 21 % y otros compuestos como lo son dióxido de carbono, argón, hidrógeno, argón, neón, helio y otros. La presión de estos gases en la atmósfera da como resultado la presión atmosférica.

#### 1.1.5. Simbología neumática”

“Los esquemas neumáticos se emplean con símbolos normalizados, para poder entender cada componente y su función dentro de las redes neumáticas. Estos han sido normalizados por parte de la ISO en la norma ISO 1219.”<sup>8</sup> En las siguientes imágenes se encuentran símbolos de diagramas neumáticos.

Figura 1. Símbolos neumáticos 1

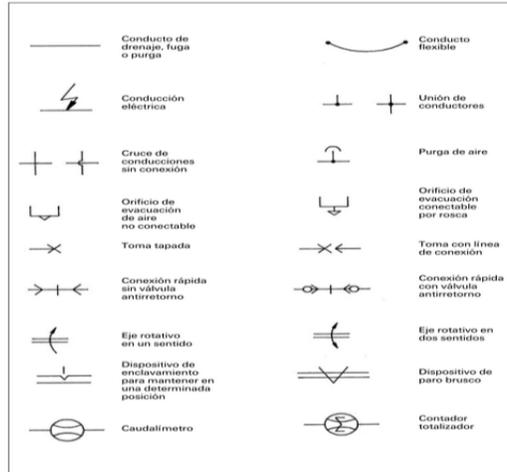


Fuente: SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p. 46.

<sup>7</sup> BUENACHE, Alejandro. *Teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web*. p. 24.

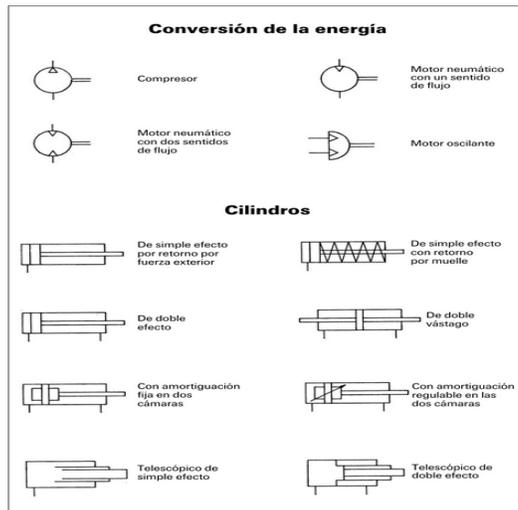
<sup>8</sup> SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p. 46.

Figura 2. Símbolos neumáticos 2



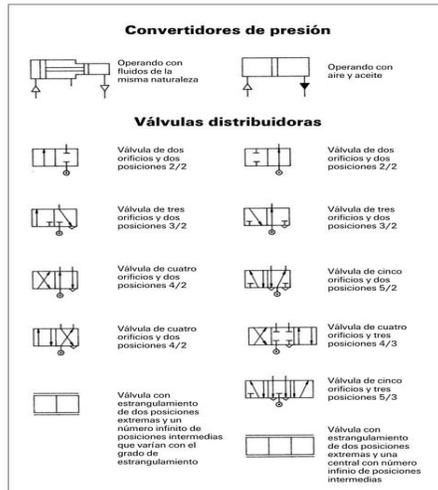
Fuente: SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p. 46.

Figura 3. Símbolos neumáticos conversión de energía y cilindros



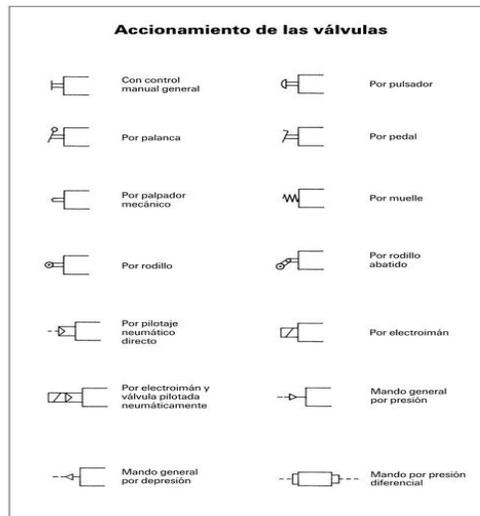
Fuente: SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p. 46.

Figura 4. **Símbolos neumáticos válvulas de presión y distribuidoras**



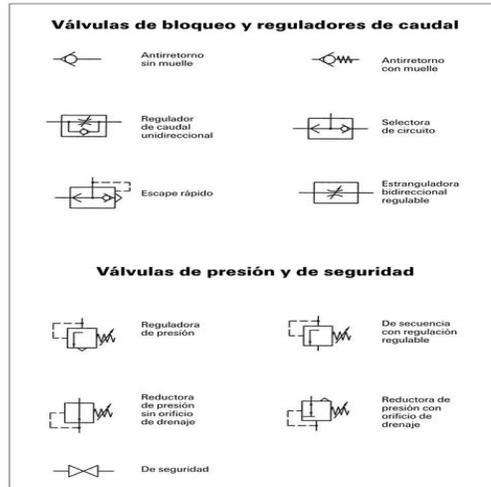
Fuente: SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p.46.

Figura 5. **Símbolos neumáticos accionamiento de válvulas**



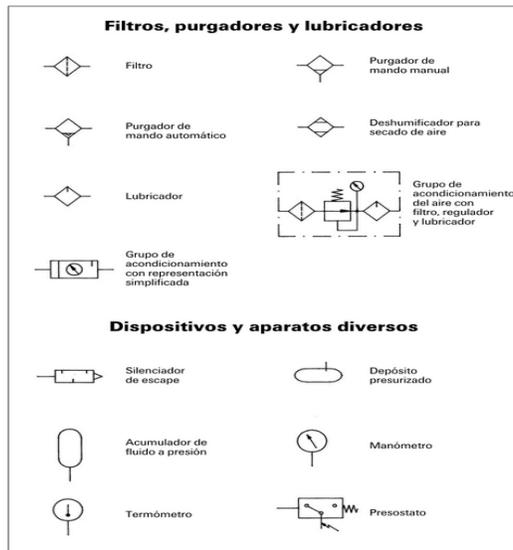
Fuente: SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. p. 46.

Figura 6. **Símbolos neumáticos de válvulas**



Fuente: SERRANO, Antonio. Neumática práctica. p.46.

Figura 7. **Símbolos neumáticos filtros, purgadoras y lubricadoras**



Fuente: SERRANO, Antonio. Neumática práctica. p.46.

## 1.2. Compresores

En la obtención de aire comprimido se utilizan compresores, los cuales reducen el volumen del gas al incrementar la presión. Esta se conoce como una máquina térmica ya que al comprimir el aire se varía su densidad. El compresor es una máquina que funciona a través del intercambio de energía entre la máquina y el fluido que por medio de trabajo ejercido en el compresor se convierte en energía de flujo al aumentar su presión y energía cinética. Por medio de comprimir el aire a presión atmosférica normal a una presión mucho más alta dando como resultado energía de flujo.<sup>9</sup>

### 1.2.1. Compresores alternativos

“Este tipo de compresor trabaja por medio de la admisión de aire en una cámara hermética, en donde se reduce el volumen. Este es el principio de desplazamiento. Estos compresores se agrupan en compresores de pistón y de membrana.”<sup>10</sup>

Los compresores de pistón son de los diseños más antiguos. Este compresor funciona mediante el movimiento hacia delante de un cilindro mediante una varilla de conexión y un cigüeñal. Este tipo de compresor permite comprimir aire y diferentes gases con pocas modificaciones. El aire se comprime por etapas, aumentando la presión en cada una para comprimir aire incluso a alta presión. En el caso de los compresores de membrana, la membrana es el elemento que separa el émbolo de la cámara de trabajo. Debido a que el aire no entra en contacto con piezas móviles, este tipo de compresor se emplea en industrias alimenticias, farmacéuticas y químicas.<sup>11</sup>

### 1.2.2. Compresores rotativos

“Los compresores rotativos trabajan mediante la aspiración por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración dentro de la turbina. Las

---

<sup>9</sup> QUISHPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la industria*. p. 17.

<sup>10</sup> *ibid.* p. 18.

<sup>11</sup> AGUILA, Carlos. *Diseño de un módulo didáctico para prácticas de neumática en el laboratorio de control industrial de la carrera de educación técnica de la facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación de la Universidad Central del Ecuador durante el período febrero - julio 2013*. p. 23.

familias que conforman este tipo de compresores son los de tornillo y centrífugos.”<sup>12</sup>

Los compresores de tornillo reducen el espacio del que dispone el aire por medio de tornillos del tipo helicoidal. Los ciclos de este se traslapan, por lo que se logra un flujo continuo. En el caso de los compresores del tipo centrífugo por medio de la acción de la fuerza centrífuga las aletas del rotor se ajustan en el rotor para aumentar el volumen en la primera etapa. Esto implica que se provoca una aspiración de aire. En la siguiente parte del ciclo se empieza a reducir el volumen para provocar el aumento de presión.<sup>13</sup>

### 1.3. Redes neumáticas

La red de distribución para el aire comprimido es conocida como red neumática, en donde las tuberías permiten transportar la energía de la presión neumática. Estas redes de distribución se dividen en tres grupos, las redes abiertas, redes cerradas y redes cerradas con interconexiones. El correcto funcionamiento del sistema implica que la tubería debe tener una leve caída hacia su destino de alrededor del 2 % con el fin de que el agua condensada pueda ser evacuada. El punto más bajo debe ser utilizado siempre para instalar un conducto de purga.<sup>14</sup>

En el diseño de las instalaciones de aire comprimido se deben considerar los siguientes pasos:

- Localizar cada proceso en el cual se utiliza aire comprimido para estimar la carga total de la instalación a diseñar.
- Determinar el consumo de aire en cada uno de los elementos.
- Determinar el valor de presión en cada elemento.
- Determinar los requisitos de cada elemento con respecto al máximo nivel de humedad y contenido de aceite.
- Establecer los porcentajes de tiempo de cada elemento.

---

<sup>12</sup> QUISHPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la industria*. p.17.

<sup>13</sup> AGUILA, Carlos. *Diseño de un módulo didáctico para prácticas de neumática en el laboratorio de control industrial de la carrera de educación técnica de la facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación de la Universidad Central del Ecuador durante el período febrero - julio 2013*. p. 26.

<sup>14</sup> BUENACHE, Alejandro. *Teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web*. p.37.

- Establecer el máximo funcionamiento simultáneo en la línea de suministro de todo el proyecto.
- Estimar un valor permisible de fugas.
- Incluir márgenes para ampliaciones de las instalaciones.
- Realizar una distribución preliminar de la planta y asignar caídas de presión y pérdidas.
- Seleccionar los equipos para producir aire acondicionado.
- Ejecutar las tuberías y tamaño de la red.
- Realizar el cálculo de costos y elección de proveedores y ejecución.

#### **1.4. Industria del látex**

El látex también se conoce como caucho o goma y se obtiene de la savia de un árbol llamado *Hevea brasiliensis*. El látex se recolecta mediante el rayado del árbol y el látex escurre durante 2 a 3 horas. Este se recoge para ir a procesar. El látex se lleva al beneficiadero donde se diluye dependiendo de la época del año en que se recoge. Posteriormente se pasa a una etapa de filtrado en donde se eliminan las impurezas. Como siguiente etapa se acidifica agregando ácido fórmico o ácido acético. En la siguiente etapa se presenta la coagulación en donde se deja en reposo por un periodo de 24 horas. El laminado se realiza utilizando una laminadora hasta obtenerse una lámina de 1.5-2mm de espesor. Al finalizar este proceso las láminas se cuelgan bajo techo y con buena ventilación de 8 a 10 días. Luego de esto son empacadas para su posterior comercialización.<sup>15</sup>

##### **1.4.1. Productos formados con látex**

Entre los productos formados con látex se pueden mencionar los utilizados en los hospitales, entre los que se incluyen guantes quirúrgicos estériles, sondas vesicales, tubos endotraqueales, viales multidosis, torniquetes o compresores, mascarillas, sistemas de sueroterapia, ambú para la ventilación manual, tiras adhesivas, chupetes, drenajes intraoperatorios o posquirúrgicos, trócares de laparoscopia entre otros. Los usos que también tiene el látex se encuentran en biberones, chupetes, guantes, preservativos, prendas de vestir, colchones, gomas de borrar, adhesivos y globos.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá. *Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural*. pp.14 - 16.

<sup>16</sup> ECURED. *Látex*. <https://www.ecured.cu/L%C3%A1tex>.

#### **1.4.2. Industria del látex en Guatemala**

Látex Centroamericana S.A. es una industria fundada en 1967 por el Ingeniero Oscar Agostini en una bodega ubicada en la zona 8. En este lugar se fabricaron manualmente guantes, y gorras para ducha. Posteriormente siguió creciendo al iniciar la fabricación de tacones, suelas. Para el año 1983 se crea la compañía comercial e industrial HR S.A. que se dedica a la fabricación de esponjas de poliuretano, aglomerados de poliuretano, melaninas, y otras láminas. En el año 1984 se crea la empresa ANCLA & CIA. LTDA. Esta se encarga de la fabricación de material didáctico y juguetes educativos de esponja y foami EVA. Posteriormente se constituye la Compañía Hulera del norte, que produce y comercializa hule natural. Para el año 2014 se crea la Recicladora Avanzada, esta se especializa en la trituración de llantas usadas.

Látex Centroamericana es una compañía líder en productos para la industria de calzado, suelas, tacones, neolites, EVA y Ginas, además de productos como lo son las alfombras industriales para automóviles, hogar, pisos, protectores para gradas, maquinaria para la industria del calzado, telas ahuladas y material para reencauche.

#### **1.5. Generalidades del equipo utilizado para producir aire comprimido**

El mecanismo para producción de aire comprimido se compone de varias partes, entre las que se encuentran el compresor, filtro de aire, tornillos, motor eléctrico, separador de aceite, filtro de aceite, intercambiador de calor y el depósito de aire comprimido. Cada uno de los equipos anteriores se describen a continuación en base a la función que ejerce dentro de la producción de aire comprimido y las variables que se manejan para el funcionamiento adecuado de cada uno de estos.

### **1.5.1. Identificación del compresor**

“Se determina el tipo de compresor de acuerdo a la forma de obtención del aire comprimido. Se debe de identificar la potencia que entrega el compresor, así como el caudal que puede entregar el compresor.”<sup>17</sup>

### **1.5.2. Filtro de aire**

El filtro de aire tiene la finalidad de eliminar las impurezas dentro del aire. Este es un recipiente que contiene una placa deflectora en la parte superior que provoca el centrifugado de las impurezas las cuales caen al fondo por gravedad. Para que el aire salga debe de atravesar el conducto de salida en donde pasa por una porosidad que depende de la exigencia de pureza en la instalación. La purga que se hace en el filtro se hace de manera manual o automática.<sup>18</sup>

### **1.5.3. Tornillos**

En el caso de los compresores de tornillo, los compresores contienen un tornillo de contorno convexo y otro cóncavo se conocen como tornillos macho y hembra. El movimiento se otorga por medio de un motor eléctrico. Esto se logra mediante tres ciclos, uno es admisión, compresión y por último la entrega. La mezcla de aceite con aire absorbe el calor de la compresión. El aceite es utilizado para sellar el aire a alta presión y también para lubricar el sistema.<sup>19</sup>

### **1.5.4. Motor eléctrico**

“El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Este movimiento es transmitido a los tornillos para que sean capaces de

---

<sup>17</sup> ZHIMNAYCELA, Carlos., CAMPOSANO, Dario. *Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz.* p. 25.

<sup>18</sup> QUISPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la Industria.* p. 20.

<sup>19</sup> ZHIMNAYCELA, Carlos., CAMPOSANO Dario. *Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz.* p. 28.

comprimir aire.”<sup>20</sup> El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía cinética para producir la compresión del aire.

### **1.5.5. Separador de aceite**

“Este es importante para impedir que el aceite pase a la línea de aire comprimido. En el caso de que el aceite entre a la línea de aire comprimido implica un costo de operación mayor, un funcionamiento ineficiente, y la calidad aceite dentro del sistema y reducir el contenido de aceite en el aire.”<sup>21</sup>

### **1.5.6. Filtro de aceite**

“Este intercepta el aceite mezclado con el aire mediante un proceso de compresión y este es retornado al depósito de aceite. Se encuentra rodeado por una cubierta de acero para asegurar la disponibilidad de aceite en todo el circuito. Este es el de costo mayor dentro de los filtros para el compresor.”<sup>22</sup>

### **1.5.7. Intercambiador de calor**

“Este es un intercambiador similar al radiador que se encuentra en los vehículos. Este no utiliza tapones, y las entradas y salidas de aire y aceite se encuentran conectadas directamente hacia él. Dentro del mismo se separan el

---

<sup>20</sup> ZHIMNAYCELA, Carlos., CAMPOSANO Dario. Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz. p. 29.

<sup>21</sup> Ibid. p. 30.

<sup>22</sup> ARCHER, Henry. *Problemas más frecuentes en la industria manufacturera guatemalteca como consecuencia del inadecuado mantenimiento en compresores de aire de tornillo y propuesta para la disminución de los mismos.* p. 26.

aire y aceite de manera que el ventilador retire todo el calor posible, y el aceite pueda retornar al circuito frío y absorber calor nuevamente.”<sup>23</sup>

El intercambiador de calor tiene como las variables de salida la temperatura del aire y del aceite, y debe de tomarse en consideración la capacidad calorífica que tiene cada uno para estimarlas.

### **1.5.8. Depósito de aire comprimido**

“Este se define como un depósito para almacenar la cantidad de aire suficiente para satisfacer la demanda que supera la capacidad del compresor. Es decir que, acumula aire a presión dentro de una chapa de acero soldada. El depósito es colocado después del separador de aceite para amortiguar las oscilaciones que existen en el caudal de aire.”<sup>24</sup>

## **1.6. Instalación de tubería de aire**

Para instalar la tubería de aire debe de determinarse el consumo que se tiene en todo el sistema, diseño del tendido de la tubería, tabla de consumo por toma, la inclinación y si el tipo de red neumática será del tipo abierta o cerrada.

### **1.6.1. Determinación del consumo del sistema**

En este caso se inicia enumerando los ramales y los elementos que alimentan cada uno de los ramales.

---

<sup>23</sup> ARCHER, Henry. Problemas más frecuentes en la industria manufacturera guatemalteca como consecuencia del inadecuado mantenimiento en compresores de aire de tornillo y propuesta para la disminución de los mismos. p. 27.

<sup>24</sup> ZHIMNAYCELA, Carlos., CAMPOSANO Dario. *Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz*. p. 33.

Tabla I. **Consumo del ramal No. 1**

<b>Ramal No. 1 Ø 0,0635 m Longitud Total 102 m</b>			
Área	Unidades	Descripción	L/s
Terminación	4	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	2,83
Prensas 10, 11, 12, y nueva	3	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair Ø 0,0063 m	0,21
	3	Pistolas aire - silicone	2,12
<b>Consumo total ramal No. 1</b>			<b>5,16</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Consumo del ramal No. 2**

<b>Ramal No. 2 Ø 0,0635 m Longitud total 15 m</b>			
Área	Unidades	Descripción	L/s
Banda	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	4	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	2,83
	1	Derivación llave de bola Ø 0,0063 m	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
	1	Alimentación para sistema neumático máquina No.1 raspadora de dos cabezas	1,42
	1	Alimentación para sistema neumático máquina No. 2	1,13
	4	Derivaciones para crecimiento Ø 0,013 m	2,83

Continuación tabla II.

	2	Pistolas aire - silicone	1,42
	2	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair Ø 0,0063 m	0,14
	1	Manguera de alimentación Ø 0,0063 m para barreno	1,79
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	3	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	2,12
	2	Fresador de neumático	2,83
	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	1,42
Prensas De 13 a 36	24	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair Ø 0,0063 m	1,70
	32	Pistolas aire - silicone	22,66
	2	Alimentación de apoyo para presión en tanque hidráulico	1,42
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
<b>Consumo total ramal No. 2</b>			<b>47,97</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Consumo del ramal No. 3**

<b>Ramal No. 3 Ø 0,0635 m Longitud 134 m Y Ø0,0381 m Longitud 42 m</b>			
Área	Unidades	Descripción	L/s
Taller	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	1,42
	1	Alimentación sistema neumático máquina	1,79
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
Prensas 1 a 10	10	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair Ø 0,0063 m	0,71

Continuación tabla III.

	10	Pistolas aire - silicone	7,08
	2	Alimentación de apoyo para presión en tanque hidráulico	1,42
Laboratorio No.3 (Kneader)	1	Alimentación de máquina de mezclas	2,36
Laboratorio No. 2	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
Mezclas	1	Alimentación para sistema neumático molino No. 42	7,08
	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	1,42
	1	Alimentación sistema neumático Kneader	21,24
	1	Alimentación sistema neumático Bambury	28,32
	4	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	2,83
<b>Consumo total ramal No. 3</b>			<b>78,51</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Consumo del ramal No. 4**

<b>Ramal No. 4 Ø 0,0508 m Longitud 92 m</b>			
Área	Cantidad	Descripción	L/s
<i>Cogin</i>	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
Empaque	3	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	2,12
Eva/ Foami	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71

Continuación tabla IV.

	1	Alimentación sistema neumático para Mezcladora Kneader No. 1 tubería Ø 0,025 m	21,24
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	2	Pistolas aire - silicone	1,42
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	0,71
	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	1,42
	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	1,42
	1	Alimentación sistema neumático para trituradora Ø 0,013 m	0,94
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	1,42
	2	Pistolas aire - silicone	1,42
	1	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	0,71
Calderas	2	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m sin boquilla	1,42
<b>Consumo total ramal No. 4</b>			<b>39,92</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Consumo del ramal No. 5**

<b>Ramal No. 5 Ø 0,0508 m Longitud 178 m</b>			
Área	Cantidad	Descripción	L/s
Sandalia	3	Perforadora de suela	2,12
Puerto Rico	4	Manguera de sopletear Ø 0,0063 m con boquilla	2,83

Continuación tabla V.

Laboratorio No.1	1	Alimentación para viscosímetro Ø 0,0063 m	1,51
	1	Alimentación para reómetro Ø 0,0063 m	0,99
<b>Consumo total ramal No. 5</b>			<b>7,45</b>

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se resume el consumo que se hace por cada uno de los ramales instalados, así como las observaciones que se tienen para cada uno de ellos.

Tabla VI. **Resumen de consumo por ramales**

Ramal No	Consumo En L/s
1	5,16
2	47,97
3	78,51
4	39,92
5	7,45
<b>Total</b>	<b>179,01</b>

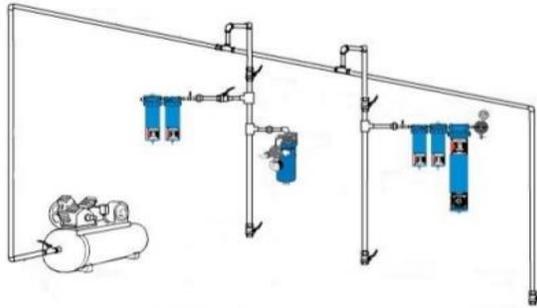
Fuente: elaboración propia.

### 1.6.2. **Diseño del tendido de tubería**

“Las dimensiones correctas de la tubería son importantes, así como el tendido. Las tuberías necesitan mantenimiento regular, por lo que no se recomienda su instalación dentro de obras, ya que la detección de fugas se

hace difícil. Debe de asegurarse que la tubería tenga una pendiente entre el 1 y 2 % en caso tenga condensado pueda purgarse por medio de derivaciones.”<sup>25</sup>

Figura 8. **Tendido de tubería**



Fuente: SlideShare. *Neumática semanas 1 y 2*. <https://es.slideshare.net/carlcox/neumatica-semanas-1-y-2>. Consulta: 02 de enero de 2020.

### 1.6.3. **Tabla de consumo por toma**

En la siguiente tabla se encuentra el consumo teórico por toma de aire comprimido de acuerdo a las áreas dentro de Látex Centroamericana actualmente.

Tabla VII. **Consumo teórico por toma de aire comprimido**

Consumo Teórico Por Tomas De Aire Comprimido	
Área	Consumo En L/s
Mezclas	63,45

<sup>25</sup> SAPIENSMAN. *Conceptos básicos de neumática e hidráulica*. <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4.htm>.

Continuación tabla VII.

Hornos	2,83
Prensas	53,07
Foami/Eva	45,02
Sandalia Y Puerto Rico	4,96
Laboratorio	8,26
Calderas	1,42
Total	179,01

Fuente: elaboración propia.

#### **1.6.4. Inclinación**

Dentro de las recomendaciones para un Sistema de aire comprimido se indica que la inclinación debe ser entre 1 y 3 %, contando en su punto más bajo con una purga, esto con el fin de evacuar el agua que se genera de la condensación por cambios en la temperatura del sistema.

En el caso del sistema en estudio es importante realizar las siguientes observaciones:

- El sistema ha crecido en ausencia de planificación y diseño, con este antecedente, el sistema no cuenta con una inclinación ni válvulas de purga para evacuar el agua producto del condensado.
- Existen ramales como el principal que sale del compresor hacia el tanque acumulador, y regresa al sistema. Ambos en su trayecto sufren una elevación de 1 metro en formando un marco para regresar nuevamente al nivel de origen, como se observa en la fotografía.

Figura 9. **Inclinación en el sistema de aire comprimido**



Fuente: Látex Centroamericana.

#### **1.6.5. Red abierta**

El sistema de aire comprimido ha crecido obedeciendo a las urgencias de producción de la planta a lo largo de los años. Actualmente se cuenta con un sistema de aire comprimido que se acerca más a un sistema abierto.

Dentro de las características principales se encuentra parte de la generación central de aire comprimido hacia el sistema, sin contar con una tubería de retorno a la misma.

Es importante resaltar que este sistema abierto es de los más utilizados. Esto debido a sus ventajas, entre las que se encuentran una baja inversión inicial y rapidez de instalación. Mientras que la mayor desventaja se tiene en el área de mantenimiento, porque de ocurrir un problema o falla en cualquiera de los ramales o redes es necesario cerrar el suministro completo, lo que implica que el resto de la planta debe de detenerse.

### **1.6.6. Red cerrada**

“La red neumática cerrada se compone desde la parte central compresora y pasa por una instalación que se cierra formando un anillo. Este tipo de distribución permite un caudal óptimo y continuidad de servicio a pesar de problemas debido a las válvulas de sector, este tipo de red neumática también es capaz de minimizar las pérdidas de carga.”<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. *Distribución de aire comprimido*. [industrial-automatiza.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html](http://industrial-automatiza.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html).

## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA**

### **2.1. Análisis del sistema de distribución**

Para realizar el análisis del sistema de distribución deben de tomarse las siguientes consideraciones: condiciones de operación de las líneas actuales, plano de distribución, sistema de derivaciones, tomas por consumo, pendiente de las tuberías e inspección del equipo. Este es un diagnóstico sobre el estado del sistema actual.

#### **2.1.1. Condiciones de operación de las líneas de aire comprimido**

Dentro de la empresa Látex Centroamericana se cuenta con 5 redes abiertas divididas de la siguiente forma: redes o ramales principales, sistema derivaciones o distribución, tomas de consumos .

##### **2.1.1.1. Redes o ramales principales**

- Red o ramal No. 1

Construida con tubería de hierro galvanizado cédula No. 40 con diámetro de 0,0635 m y parte de las unidades compresoras hacia el tanque acumulador con una longitud de 102 m de él se subdividen los ramales No. 3 y 4.

Tabla VIII. **Ramal No. 1**

<b>Ramal No. 1</b>	
Ruta	Sale de compresores, hacia área de terminación, bodega hasta tanque acumulador
Áreas de suministro	Ramales 3 y 4 con derivaciones hacia las áreas de cortadoras, polvos, bodega, hornos, prensas 11, 12, 13 tanque hidráulico No.3
Cédula de tubería	C40
Presión de operación (Pa)	861 845
Diámetro (m)	0,0635
Longitud (m)	102
Cantidad de codos	10
Cantidad de t	5
Cantidad de cruces	1
Cantidad de coplas	9
Cantidad de unión universal	3
Cantidad de llaves de compuerta	4
Cantidad de llaves de bola	0
Cantidad de soldaduras	0
<b>Derivaciones</b>	
Cantidad de derivaciones	4
Diámetro de derivaciones (m)	0,0127
Longitud de derivaciones (m)	101
Cantidad de codos	25
Cantidad de coplas	10
Cantidad de uniones universales	10
Cantidad de t	15
Cantidad de llaves de compuerta	10
Cantidad de llaves de bola	8
Cantidad de pistolas de sopletear	8
Cantidad de llaves de inflado de neumáticos	1
Cantidad de llaves mezcladoras (lubricante -aire)	3

Fuente: elaboración propia.

- Red o ramal No. 2

Construida con tubería de hierro galvanizado cedula No. 40 con diámetro de 0,0635 m y parte de las unidades compresoras hacia el área de prensas con una longitud de 15 m.

Tabla IX. **Ramal No. 2**

<b>Ramal No. 2</b>	
Ruta	Sale de área de compresores hacia área de prensas de la 13 a 35, terminando en área de banda.
Áreas de suministro	Prensas de 13 a 36, tanques de hidráulico No.4 y No. 5, área de banda.
Cédula de tubería	C40
Presión de operación (Pa)	861 845
Diámetro (m)	0,0635
Longitud (m)	15
Cantidad de codos	0
Cantidad de t	1
Cantidad de cruces	0
Cantidad de coplas	3
Cantidad de unión universal	1
Cantidad de llaves de compuerta	1
Cantidad de llaves de bola	0
Cantidad de soldaduras	0
<b>Derivaciones</b>	
Cantidad de derivaciones	3
Diámetro de derivaciones (m)	0,0127
Longitud de derivaciones (m)	250
Presión de trabajo	
Cantidad de codos	47
Cantidad de coplas	20
Cantidad de uniones universales	30
Cantidad de t	50
Cantidad de llaves de compuerta	28
Cantidad de llaves de bola	10

Continuación tabla IX.

Cantidad de pistolas de sopletear	10
Cantidad de llaves de inflado de neumáticos	0
Reductores de 1/2 a 1/4	24
Cantidad de llaves mezcladoras (lubricante -aire)	24

Fuente: elaboración propia.

- Red o ramal No. 3

Construida con tubería de hierro galvanizado cedula No. 40 con diámetro de 0,0635 m y parte del ramal No. 1 hacia el área de mezclas con una longitud de 134 m.

Tabla X. **Ramal No. 3**

<b>Ramal No. 3</b>	
Ruta	Sale de ramal No. 1 en límite de área de hornos, recorre todo el pasillo principal, pasa sobre Lab. No.1 cruza en Lab. No. 3 hasta llegar área de mezclas.
Áreas de suministro	Prensas de 1 a 9, tanques de hidráulico No.1 y No. 2, área de mezclas en dos sub ramales.
Cédula de tubería	C40
Presión de operación (Pa)	861 845
Diámetro (m)	0,0635
Longitud (m)	134
Cantidad de codos	4
Cantidad de t	7
Cantidad de cruces	1
Cantidad de coplas	14
Cantidad de unión universal	1
Reductor de 2½ a 1½	0
Cantidad de llaves de compuerta	3
Cantidad de llaves de bola	2
Cantidad de soldaduras	1

Continuación tabla X.

<b>Derivaciones</b>	
Cantidad de derivaciones	4
Diámetro de derivaciones (m)	0,0127
Longitud de derivaciones (m)	134
Cantidad de codos	38
Cantidad de coplas	10
Cantidad de uniones universales	15
Cantidad de t	35
Reductor de 2½ "a 2"	0
Reductor de 2 "a ½"	0
Cantidad de llaves de compuerta	20
Cantidad de llaves de bola	7
Cantidad de pistolas de sopletear	6
Cantidad de llaves de inflado de neumáticos	1
Reductores de 1/2" a 1/4"	9
Cantidad de llaves mezcladoras (lubricante -aire)	9

Fuente: elaboración propia.

- Red o ramal No. 4

Construida con tubería de hierro galvanizado cedula No. 40 con diámetro de 0,0635 m y parte del ramal No. 1 hacia el área de foamy/Eva con una longitud de 92 m.

Tabla XI. **Ramal No. 4**

<b>Ramal No. 4</b>	
Ruta	Sale de ramal No. 1 en bodega de producto terminado hacia área de Eva.
Áreas de suministro	Área de Eva, condux o reciclado y caldera.

Continuación de la tabla XI.

Cédula de tubería	C40
Presión de operación (Pa)	861 845
Diámetro (m)	0,0508
Longitud (m)	92
Cantidad de codos	5
Cantidad de t	5
Cantidad de cruces	0
Cantidad de coplas	7
Cantidad de unión universal	3
Cantidad de llaves de compuerta	5
Cantidad de llaves de bola	0
Cantidad de soldaduras	1
<b>Derivaciones</b>	
Cantidad de derivaciones	3
Diámetro de derivaciones (m)	0,0127
Longitud de derivaciones (m)	274
Cantidad de codos	38
Cantidad de coplas	32
Cantidad de uniones universales	14
Cantidad de t	20
Cantidad de llaves de compuerta	6
Cantidad de llaves de bola	7
Cantidad de pistolas de sopletear	16
Cantidad de llaves de inflado de neumáticos	0
Reductores	16
Cantidad de llaves mezcladoras (lubricante -aire)	0

Fuente: elaboración propia.

- Red o ramal No. 5

Construida con tubería de hierro galvanizado cedula No. 40 con diámetro de 0,0635 m y parte del tanque acumulador hacia el área de mezclas con una longitud de 178 m.

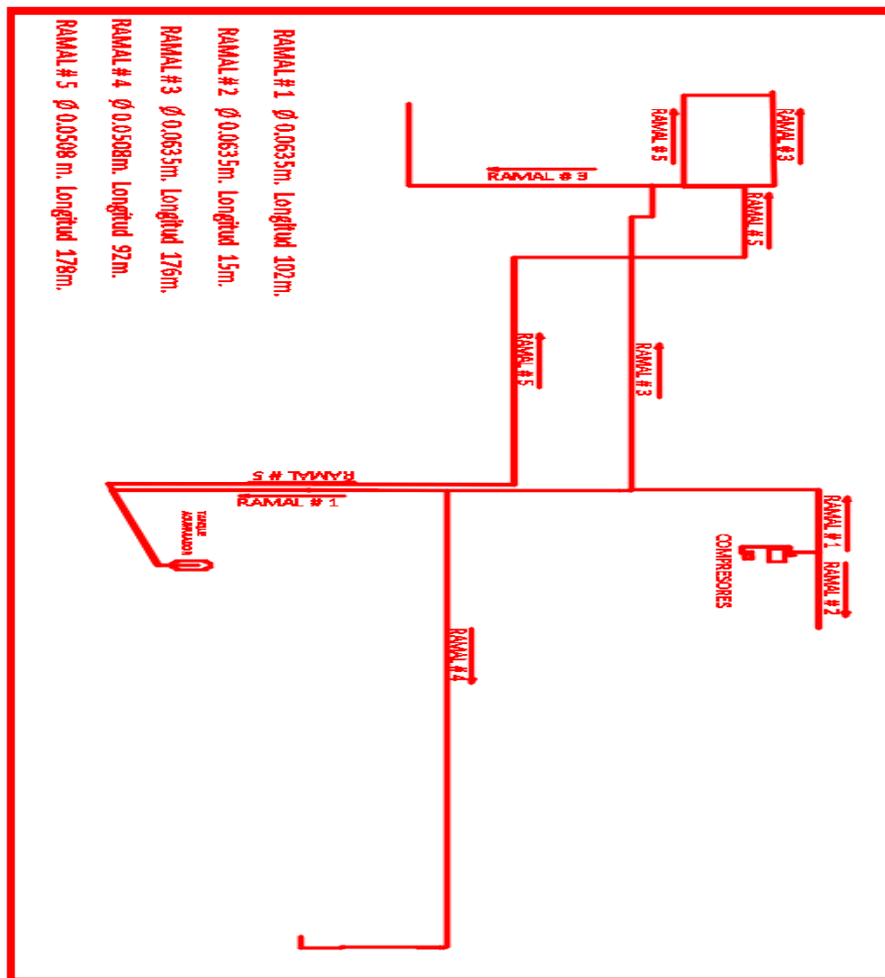
Tabla XII. **Ramal No. 5**

<b>Ramal No. 5</b>	
Ruta	De tanque acumulador cruza en bodega almacenado. 5, cruza bodega, cruza hacia taller, cruza hacia mezclas, se interconecta con ramal No.3.
Áreas de suministro	Área de reciclado y caldera
Cédula de tubería	C40
Presión de operación (Pa)	861 845
Diámetro (m)	0,0508
Longitud (m)	178
Cantidad de codos	9
Cantidad de t	5
Cantidad de cruces	1
Cantidad de coplas	15
Cantidad de unión universal	5
Cantidad de llaves de compuerta	4
Cantidad de llaves de bola	
Cantidad de soldaduras	0
<b>Derivaciones</b>	
Cantidad de derivaciones	4
Diámetro de derivaciones (m)	0,0127
Longitud de derivaciones (m)	94
Presión de trabajo	
Cantidad de codos	25
Cantidad de coplas	10
Cantidad de uniones universales	7
Cantidad de t	16
Cantidad de llaves de compuerta	14
Cantidad de llaves de bola	6
Cantidad de pistolas de sopletear	
Reductores de 1/2 a 1/4	

Fuente: elaboración propia.

Se muestra a continuación el plano de distribución actual del sistema de aire comprimido, este ha obtenido del estudio realizado con medidas tomadas en planta Látex Centroamericana. En este se indican cada uno de los ramales principales en el sistema de aire comprimido.

Figura 10. **Plano de distribución actual de la tubería de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

### 2.1.1.2. Sistema de derivaciones o distribución

Se cuenta con diferentes derivaciones y sub derivaciones dentro de este sistema los cuales alimentan las diferentes tomas para consumo de aire las cuales parten de los 5 ramales principales mencionados anteriormente

Un aspecto importante observado en las líneas de derivación es que todas parten de forma vertical hacia debajo de la red principal o ramal hacia las unidades de consumo esto genera que el condensado de la tubería llegue directamente a los equipos, como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 11. **Sistemas de distribución 1**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 12. **Sistemas de distribución 2**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 13. **Sistemas de distribución 3**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 14. **Sistemas de distribución 4**

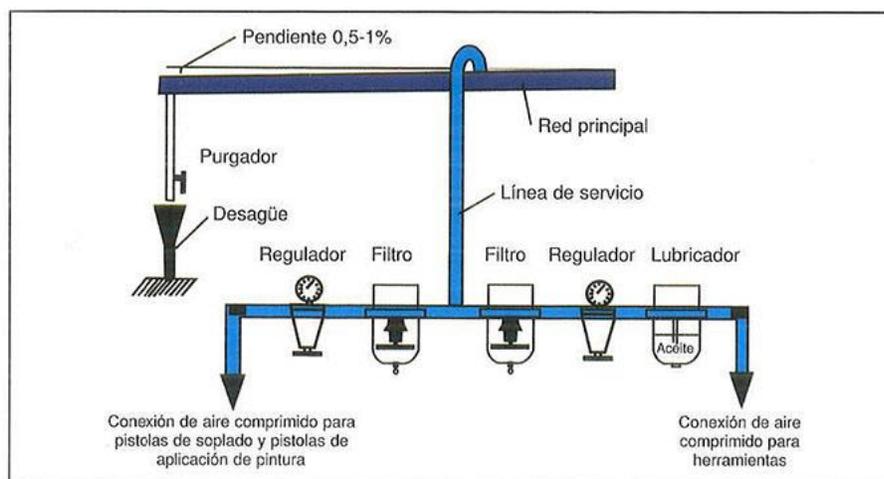


Fuente: Látex Centroamericana.

Para el alcance de este estudio no se contemplan los cambios en tuberías de distribución, porque la empresa en este momento no tiene en consideración financieramente un cambio total del sistema, lo que buscan es optimizar la calidad de aire comprimido para su proceso.

Cada circuito de distribución debe de tener su respectiva pendiente hacia un bajante con su respectivo drenador que puede ser manual o automático, para expulsar el condensado de las tuberías. las distribuciones deben realizarse por medio del cuello de ganso para minimizar la llegada del condensado a los equipos. La pendiente permite maximizar el tiempo de vida de los equipos.

Figura 15. **Pendiente de la tubería**



Esquema de línea de servicio.

Fuente: Autobody Magazine. *Calidad del aire en el taller de repintado.* <https://www.autobodymagazine.com.mx/2017/06/01/aire-repintado2/>. Consulta: 08 de enero de 2020.

En resumen, se tienen para cada uno de los ramales con las siguientes características:

- De ramal No. 1 cuenta con 4 derivaciones en tubería de HG con diámetro de 0,0127 m con una longitud total de 101 m.
- De ramal No. 2 cuenta con 3 derivaciones en tubería de HG con diámetro de 0,0127 m con una longitud total de 250 m.

- De ramal No. 3 cuenta con 4 derivaciones en tubería de HG con diámetro de 0,0127 m con una longitud total de 134 m.
- De ramal No. 4 cuenta con 3 derivaciones en tubería de HG con diámetro de 0,0127 m con una longitud total de 274 m.
- De ramal No. 5 cuenta con 4 derivaciones en tubería de HG con diámetro de 0,0127 m con una longitud total de 94 m.

### 2.1.1.3. Tomas o consumos

A continuación, se describe el consumo que se tiene de acuerdo a la numeración del ramal.

Tabla XIII. Consumo según número de ramal

Ramal No.1	
7	Pistolas de sopletear
4	Diafragma de bomba Sinclair
	Alimentación de ramales No.3 y No.4
Ramal No.2	
19	Pistolas de sopletear
34	Pistolas de aire silicone
26	Diafragma de bomba Sinclair
2	Fresador neumático
Ramal No.3	
8	Pistolas de sopletear
10	Pistolas de aire silicone
10	Diafragma de bomba Sinclair
2	Alimentación de sistemas neumáticos de equipos

Continuación tabla XIII.

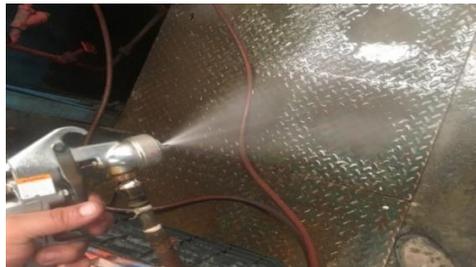
Ramal No.4	
21	Pistolas de sopletear
4	Pistolas de aire silicone
2	Alimentación de sistemas neumáticos de equipos
Ramal No.5	
7	Pistola de sopletear
2	Alimentación de sistemas neumáticos de equipos

Fuente: elaboración propia.

Consecuentemente, se enumeran a continuación las deficiencias encontradas en el sistema:

- Sistema con diferentes diámetros en el recorrido de las líneas.
- Sistema presenta exceso de condensado en sus diferentes líneas y la cantidad es tal que se extrae de ellas agua en lugar de aire comprimido en muchas zonas como se ve en la fotografía siguiente.

Figura 16. **Pistola de aire comprimido con deficiencias 1**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 17. **Pistola de aire comprimido con deficiencias 2**



Fuente: Látex Centroamericana.

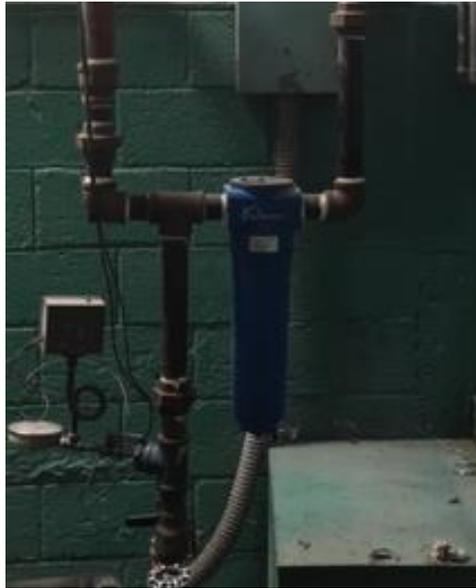
### **2.1.2. Inspección del equipo y detección de fugas**

Para realizar un diagnóstico completo se hizo una inspección sobre el equipo y las fugas que se encuentran dentro de cada ramal.

#### **2.1.2.1. Inspección del equipo**

Se mencionan a continuación las deficiencias del sistema de aire comprimido que opera actualmente en la empresa. Debe resaltarse que solo se cuenta en la entrega de aire con un filtro separador de humedad o trampa (como se muestra en fotografía) de condensado, en la cual no se cuenta con drenaje automático. La operación de drenaje se realiza únicamente al final del turno por una persona de mantenimiento, pero no se tiene registro para certificar que se realice.

Figura 18. **Trampa de condensado**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 19. **Especificaciones de trampa de condensado**



Fuente: Látex Centroamericana.

También debe mencionarse que existe una gran distancia desde la generación de aire comprimido hasta el tanque acumulador totalmente fuera de norma a 102 metros. Este tanque se encuentra ubicado al lado opuesto de la planta, La actividad de drenado está a cargo de personal de mantenimiento al final del turno sin registro alguno.

Figura 20. **Tanque acumulador de aire comprimido**



Fuente: Látex Centroamericana.

### **2.1.2.2. Fugas en el sistema**

En todo el sistema actualmente se han encontrado una buena cantidad de fugas las cuales impactan de forma directa en el consumo Energético del aire comprimido a continuación se describen las fugas encontradas. El estudio fue realizado por la empresa Kaeser con equipo de ultrasonido.

Tabla XIV. **Fugas en el sistema por la empresa Kaeser**

Casa:	Kaeser Compressors	
Modelo:	BSD 50 - 125 psig / 460V/3ph/60Hz	
Capacidad del compresor	236	cfm
Potencia del compresor	50	HP
Eficiencia del motor	94,1	%
Capacidad de presión	125	psig
Energía consumida específica a presión operacional máxima.	17,54	kW/100cfm

Datos generales

Horas de operación por año	3 536	horas
Costo de energía	\$0,13	\$/kWh

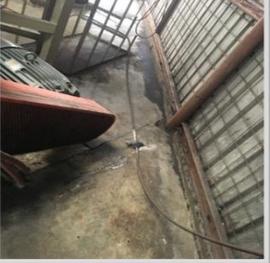
Resumen

numero de fugas	52	Fugas
Total cfm perdido en fugas	30,90	cfm
Costo anual total de fugas	\$ 2 459,83	USD\$

Fuente: elaboración propia empleando los datos obtenidos del estudio realizado por la empresa Kaeser.

En la siguiente tabla se describe el estado del equipo, la pieza, y fotografía de cada una de las fugas identificadas.

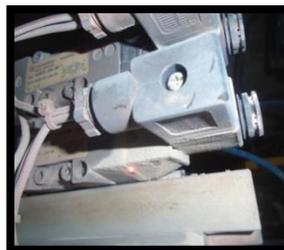
Tabla XV. Fugas en el sistema identificadas

No.de fuga	Equipo	Pieza	Descripción	Área	Fotografía
1	Manguera de sopletear	Reductor	Fuga en unión de tubería y reductor hacia manguera, así como la unión para extender la manguera.	Condux Refinados	
2	Molino Condux 2	Llave de bola para pistola de sopletear.	Llave en mal estado, no cierra.	Condux	
3	Molino Condux 3	Llave de compuerta manguera de sopletear.	Estopa en mal estado, fuga por vástago.	Condux	
4	Molino	Manguera pistola de sopletear.	Manguera en mal estado, muy rajada por el uso.	Condux	
5	Molino Shoper	Manguera pistola de sopletear.	Manguera rota fuga fuerte.	Condux	

Continuación tabla XV.

6	Cuadradora.	Llave de compuerta pistola sopletear.	Daño en estopa de vástago de llave.	Eva	
7	Pegadora de Block.	Manguera de sopletear.	Manguera rota.	Eva	
8	Tubería ramal No.4	Niple de unión.	Fuga por rasca de niple entre tunería y derivación por el área de prensas 1 y 2.	Eva	
9		Pistola de sopletear	Pistola en mal estado no cierra en área detrás de Kneader TR.	Eva	
10	Mezclador TR	Manguera de acople.	Fuga en acople de manguera con selector de operación y cilindro de trabajo.	Eva	

Continuación tabla XV.

11	Mezclador Kneader TR.	Electro- válvula y sistema neumático.	Fuga por electroválvula, vaso de unidad de mantenimiento, acoples de manguera de válvulas neumáticas hacia cilindros de presión.	Eva	
12	Kneader.	Pistola de sopletear.	En mal estado, no cierra.	Eva	
13	Molino No.60	Regulador de presión.	En Ramal No. 4 Fuga importante en unión roscada entre Ramal y regulador.	Eva	
14	Eva	Electro- válvula.	Fuga por empaque de cuerpo de electroválvula.	Eva	

Continuación tabla XV.

15	Pistola de sopletear	Pistola de sopletear	En mal estado, no cierra.	Entre Kneader y M60	
16	Enfriador	Manguera	Manguera de alimentación a enfriador en mal estado.	Eva	
17	Troqueladora entrelazable	Pistola de sopletear	Pistola en mal estado, no cierra.	Eva	
18	Troquelador de puente	Pistola de sopletear	Pistola en mal estado, no cierra.	Eva	
19	Troquelador de puente	Manguera	Manguera en mal estado, rajada por posición y peso de la misma.	Eva	

Continuación tabla XV.

20	Raspadoras neumáticas	Sistemas neumáticos	Fuga en T de electroválvula de la raspadora de doble cabeza acople rápido de unidad de mantenimiento raspadora simple.	Banda	
21	Prensas	Regulador de presión	Fuga en manómetro de regulador que alimenta bombas de diafragma.	Banda	
23	Raspadora No.2	Unidad de mantenimiento	Fuga por acople de tubería de cobre hacia unidad de mantenimiento que alimenta equipo.	Banda	
24	Raspadoras No.1 y 2	Acople y extensión	Fuga en unión para extensión de manguera de banda No.2, fuga en acople rápido para alimentar fresadoras de banda.	Banda	

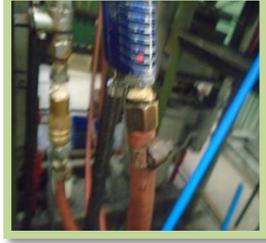
Continuación tabla XV.

25	Molino No.60	Manguera de sopletear	Frente a extruder fuga por manguera rota de pistola de sopletear.	Banda	
26	Raspadora de suela No.3	Llave de compuerta	Fuga en estopa de llave de compuerta y unión universal que alimenta el sistema.	Empaque	
27	Pistola de sopletear	Pistola de sopletear	Fuga en pistola de sopletear ubicada a la par del pasillo principal.	Cojín	
28	Raspadora No.1	Llave de compuerta	Estopa de vástago de llave en mal estado.	Terminación	

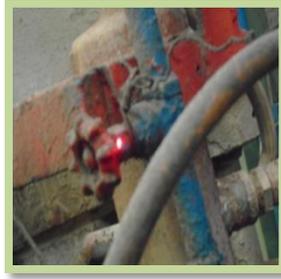
Continuación tabla XV.

29	Sopleteador	Filtro de agua	Fuga por dejar abierto drene de agua de unidad de mantenimiento operarios indican que lo dejan así porque les sirve para limpiarse, pero al ser polvo si esta húmedo el aire se les pega a la piel y la ropa, colocan un tambo para recibir el condensado.	Terminación de polvos	
30	Máquina neumática	Acoples	Fuga en conexiones internas.	Sandalia	
31	Pistola de sopletear	Pistola de sopletear	En mal estado, no cierra.	Puerto Rico	

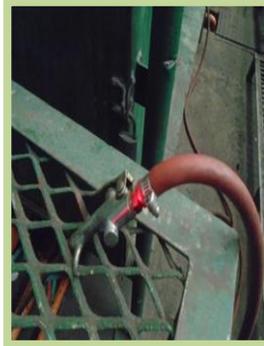
Continuación tabla XV.

32	Mangueras	Reductor	Fuga por reductor que alimenta a mangueras de soplear.	Calderas	
33	Tubería Prensa No.36	Llave de compuerta	Estopa de vástago de llave en mal estado.	Prensas 13 a 36	
34	Pistolas aire silicone	Mangueras	Pistolas de prensas No.15, 20, 28,29,31 y 33.	Prensas 13 a 36	
35	Entre prensas 29 y 23	Llave de compuerta	Estopa de vástago de válvula de alimentación principal.	Prensas 13 a 36	
36	Prensa No.22	Reductor	Alimentación principal hacia prensa.	Prensas 13 a 36	

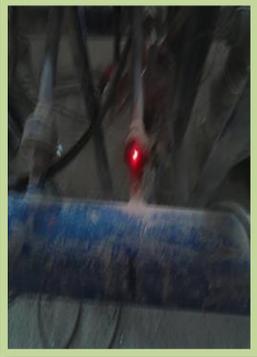
Continuación tabla XV.

37	Prensa No.20	Codo roscado	Rosca de codo en alimentación principal de prensa No.20.	Prensas 13 a 36	
38	Prensa No.18	Válvula de compuerta	Estopa de vástago de válvula en alimentación principal en mal estado.	Prensas 13 a 36	
39	Prensa No.16	Manguera	Fuga por manguera de alimentación de unidad de mantenimiento.	Prensas 13 a 36	
40	Bomba Sinclair prensa No.6	Empaque	Fuga importante por sello de diafragma.	Prensas de 1 a 9	
41	Entre prensas 13 y 14	Válvula de compuerta	Estopa de vástago de válvula en alimentación de sistema de aire.	Prensas 13 a 36	

Continuación tabla XV.

42	Prensa No.12	Manguera	Manguera de alimentación unidad de mantenimiento de prensa.	Prensas de 10 a 12	
43	Prensas	Pistola de sopletear	Fuga por manguera que alimenta la pistola.	Prensas 1 a 9	
44	Kneader	Manguera	Manguera de pistola de sopletear rota.	Laboratorio No.3 Kneader	
45	Viscosímetro	Vaso de lubricante	Fuga por vaso de lubricante de unidad de mantenimiento de viscosímetro.	Laboratorio No.1	

Continuación tabla XV.

46	Molino No.42	Manguera y válvula de control	Fuga importante por manguera rota de alimentación de sistema neumático, llave de alimentación a manguera de sopletear.	Mezclas	
47	Bambury No.9	Unión universal	Alimentación principal Bambury No.9.	Mezclas	
48	Bambury No.9	Codo roscado	Fuga importante en línea de alimentación principal.	Mezclas	
49	Bambury No.9	Reductor	Dentro del reductor del filtro de alimentación.	Mezclas	

Continuación tabla XV.

50	Bambury No.9	Válvula de compuerta	Fuga por estopa de vástago de válvula en mal estado.	Mezclas	
51	Molino No.4	Válvula de compuerta	Estopa de vástago de válvula en mantenimiento.	Mezclas	
52	Tanque acumulador principal	Válvula de compuerta	Estopa de vástago de válvula en mal estado, salida de presión hacia planta.	Bodega producto terminado	

Fuente: elaboración propia.

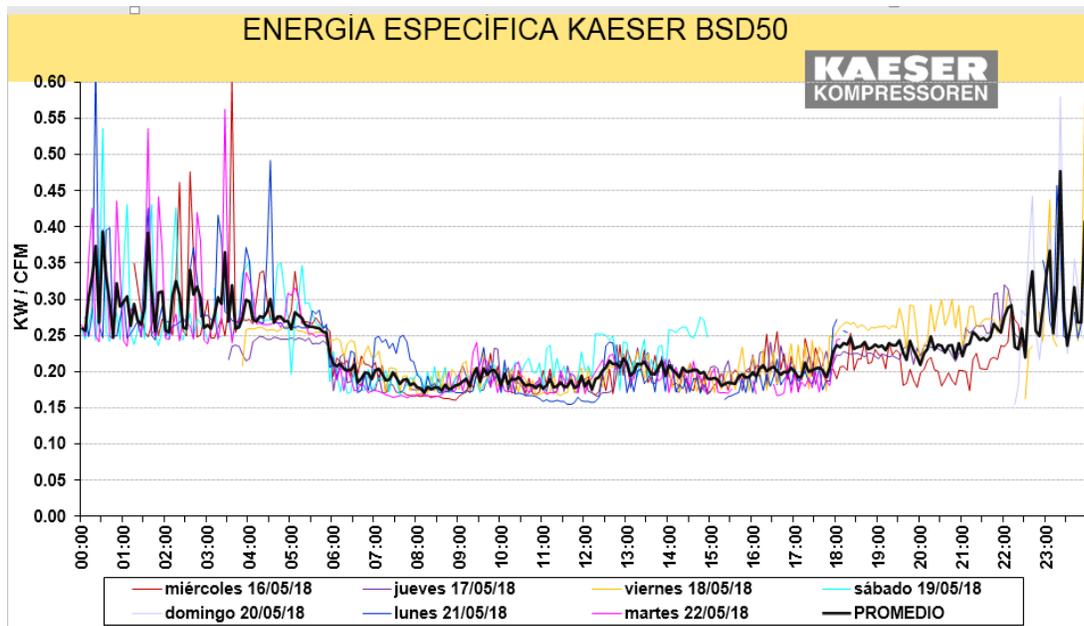
## 2.2. Consideraciones previas

Como siguiente parte del diagnóstico se encuentra el cálculo del consumo específico, el coeficiente de utilización, capacidad de los compresores y el número de compresores.

### 2.2.1. Consumo específico

A continuación, se encuentra el consumo específico del compresor Kaeser BSD50 de acuerdo al día de la semana.

Figura 21. Consumo específico



Fuente: Compresor Kaeser BSD50.

Como se puede observar en la medición realizada durante una semana efectiva de producción se obtuvieron los datos del consumo de energía en

funcionamiento normal del compresor. La energía consumida específica en promedio es de 0,2037 kW/cfm, o 0,4316kW/(L/s).

### 2.2.2. Coeficiente de utilización

Este coeficiente se utiliza para determinar la capacidad del compresor necesaria con el fin de alimentar un equipo, herramienta o sistema neumático que utilizan aire comprimido. El margen de operación intermitente se conoce como factor de servicio o coeficiente de utilización. En el caso de este estudio se conoce la capacidad del compresor debido a que se solicita a la empresa el dato.

### 2.2.3. Capacidad de los compresores

En la actualidad se cuenta con dos compresores, uno trabajando de forma permanente Marca Kaeser y el otro queda de emergente por cualquier avería o aumento en la demanda de aire comprimido para mantener la presión de operación Marca Ingersoll Rand ambos tienen la misma capacidad de Motor eléctrico de 50 HP o 37 285 W, aunque una entrega de aire diferente en función a su eficiencia. Ambos compresores se encuentran conectados en paralelo alimentando las diferentes redes o ramales principales.

Tabla XVI. **Capacidad de los compresores**

Marca	Modelo	Entrega de Aire (L/s)	Potencia Nominal (W)	Presión Nominal (Pa)	Año de Fabricación
KAESER	BSD50	113 752	37 285	861 845	2 004

Continuación tabla XVI.

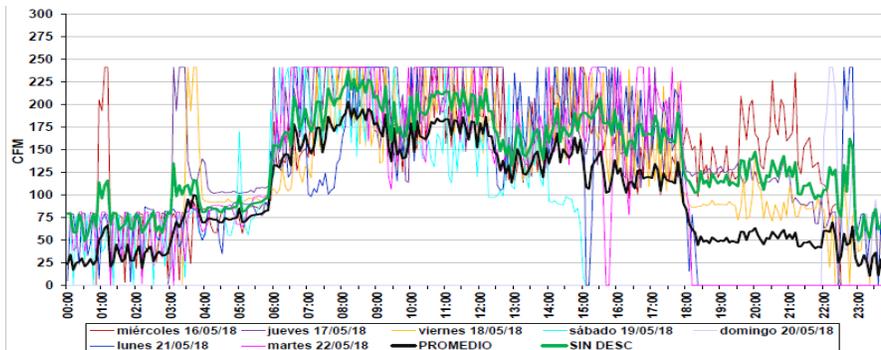
Ingersoll Rand	SSR- EP50	93 456	37 285	861 845	1 992
-------------------	--------------	--------	--------	---------	-------

Fuente: elaboración propia.

En función al estudio realizado en operación se tiene un consumo Promedio de 100,79 CFM. Con esta información se puede definir que la capacidad de un compresor es suficiente para la demanda requerida. Pero es importante mencionar que existen eventos donde es insuficiente como lo presenta la gráfica adjunta donde para mantener la presión de operación es necesario un caudal de 284 CFM.

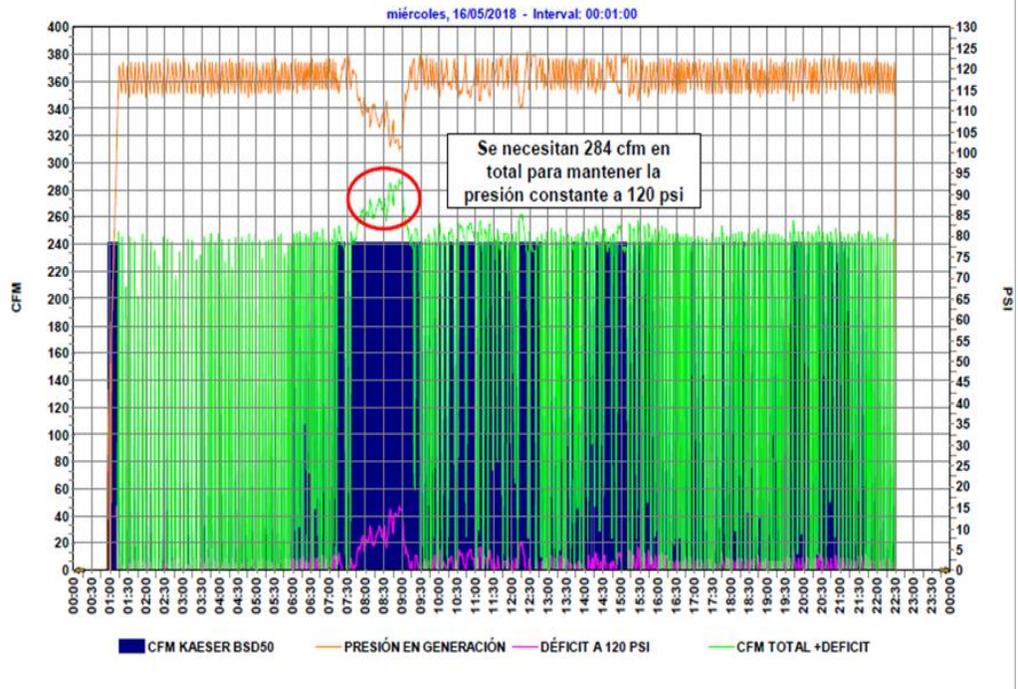
Este sobrepasa la capacidad máxima del compresor titular y se ven en la necesidad de arrancar el segundo compresor, todas estas actividades se realizan de forma manual porque se carece de un sistema inteligente que gobierne los compresores en función a demanda.

Figura 22. **Entrega de aire del compresor Kaeser BSD50**



Fuente: Compresor Kaeser BSD50

Figura 23. Entrega de aire compresor



Fuente: Compresor Kaeser BSD50.

#### 2.2.4. Número de compresores

Se cuenta con dos compresores, uno marca Kaeser modelo BSD50 y uno marca Ingersoll Rand modelo SSR-EP5 para la operación de la planta en cada uno de sus ramales para aire comprimido.

#### 2.3. Cálculo de cargas de aire en las áreas de trabajo

A continuación, se presenta la carga total instalada en el sistema de aire comprimido clasificada por áreas.

Tabla XVII. **Carga por áreas de trabajo**

<b>Carga total instalada en sistema de aire comprimido Látex Centroamericana S.A.</b>				
Área	Ramal	Carga	Descripción de carga	Ubicación
Bodega de producto terminado	1	1	Manguera y boquilla de inflar llantas $\varnothing$ 0,0063 m.	Portón de despacho de bodega producto terminado.
		1	Manguera y boquilla de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m.	Portón de despacho de bodega producto terminado.
	5	1	Suministro disponible con llave compuerta $\varnothing$ 0,0127 m.	Sobre alma llena No. 5.
Sandalia	5	4	Perforadora de suela.	Sandalia banda transportadora.
		4	Manguera y boquilla de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m.	Distribuidas en el área.
Puerto Rico	5	3	Manguera y boquilla de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m.	Bajo mesanina de bodega.
Terminación	1	1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Área sobre alma llena No. 1.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Sobre columna frente a divisora No. 2.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	En raspadora No. 1.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Dentro de área de polvos.
		1	Derivación $\varnothing$ 0,0127 m con tapón macho.	Frente a cuarto de compresores.
Bodega de moldes	1	1	Derivación $\varnothing$ 0,0127 m con tapón macho.	Dentro de bodega de moldes.
Área de cojín	4	1	Manguera y boquilla de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m.	Frente a molino.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla	Sobre pared de Eva.
Empaque	4	3	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Raspadoras de suela 1,2 y 3.

Continuación tabla XVII.

Eva/ foami	4	1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Cuadradora.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Pegadora.
		1	Alimentación sistema neumático 5 cilindros.	
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	En troqueladoras de puente.
		1	Derivación con llave de $\varnothing$ 0,0127 m.	
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		2	Pistolas aire – silicone.	Prensas No. 1 y No. 2 Eva.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Calandreadora
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Molino No. 70
		3	Derivación con llave de globo de $\varnothing$ 0,0127 m para crecimiento.	Frente área de mezclas Eva.
		1	Alimentación sistema neumático para mezcladora tubería $\varnothing$ 0,0254 m.	Kneader No. 1
		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		1	Alimentación sistema neumático para mezcladora tubería $\varnothing$ 0,0254 m.	Kneader No. 2
		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		1	Alimentación sistema neumático para trituradora $\varnothing$ 0,0127 m.	Siller
		1	Alimentación sistema neumático para inyectora $\varnothing$ 0,0127 m.	Lorenzini
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Prensas No. 3 y horno Eva.
		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		2	Pistolas aire - silicone	
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
1	Derivación $\varnothing$ 0,0127 m hacia unidad de mantenimiento.			

Continuación tabla XVII.

		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	
		1	Derivación llave de bola $\varnothing$ 0,0127 m.	
Calderas	4	2	Alimentación hacia quemador $\varnothing$ 0,019 m.	Calderas
Banda	2	1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Molino No. 60 banda.
		4	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Condux No.1 y No.2.
		1	Derivación llave de bola $\varnothing$ 0,0063 m.	Refinado
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	
		1	Alimentación para sistema neumático maquina No.1.	Área anexo prensas almacenaje banda. raspadoras
		1	Alimentación para sistema neumático maquina No. 2.	
		4	Derivaciones para crecimiento $\varnothing$ 0,0127 m.	
		2	Pistolas aire – silicone.	Presa banda No.1 y No. 2.
		2	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair $\varnothing$ 0,0063 m.	
		2	Sopladores enfriadores $\varnothing$ 0,019 m.	Salida <i>extruder</i> .
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m para barreno.	Cuarto frente a <i>extruder</i> .
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		2	Alimentación sistema neumático raspadoras.	Raspadoras de banda 1 y2.
		3	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		2	Esmeril neumático.	Pegadoras 1 y 2.
		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
Prensas de 13 a 36	2	24	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair $\varnothing$ 0,0063 m.	Área de prensas anexo.
		32	Pistolas aire – silicone.	

Continuación tabla XVII.

		2	Alimentación de apoyo para presión en tanque hidráulico.	Tanques No. 4 y No. 5.
		1	Llave de purga $\varnothing$ 0,0127 m.	En ingreso de ramal 2 al área.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	En prensa No, 36.
Prensas 10, 11, 12, y nueva	1	3	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair $\varnothing$ 0,0063 m.	En prensas 11,12, nueva.
		3	Pistolas aire – silicone.	
		1	Alimentación de apoyo para presión en tanque hidráulico.	Tanque No. 3.
Taller	3	2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	Taller lavado de piezas.
		1	Alimentación sistema neumático máquina.	Área anexa a taller.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	
Prensas 1 a 10	3	10	Alimentación diafragma actuador bomba Sinclair $\varnothing$ 0,0063 m.	En prensas 1 a 10.
		10	Pistolas aire – silicone.	
		2	Alimentación de apoyo para presión en tanque hidráulico.	Tanques No. 1 y No. 2.
Laboratorio No.3 kneader	3	1	Alimentación de máquina de mezclas.	Kneader de laboratorio.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
Laboratorio No.1	5	1	Alimentación para viscosímetro $\varnothing$ 0,0063 m.	Pasillo hacia planta ala hacia puerto rico.
		1	Alimentación para reómetro $\varnothing$ 0,0063 m.	
Laboratorio No. 2	3	1	Agitador $\varnothing$ 0,0063 m.	Pasillo hacia planta ala hacia mezclas.
		1	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	
Mezclas Mezclas	3 y 5	1	Alimentación para sistema neumático $\varnothing$ 0,0254 m.	Molino No. 42.
		2	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m sin boquilla.	

Continuación tabla XVII.

		1	Alimentación sistema neumático.	Mezclador kneader.
	3	1	Sistema neumático molino.	Mezclador bambury.
		1	Sistema neumático molino.	
		1	Alimentación tanque de acumulador de 250 gal.	
		4	Manguera de sopletear $\varnothing$ 0,0063 m con boquilla.	Área de molinos.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se encuentra el consumo teórico para cada una de las áreas dentro del sistema de aire comprimido en Látex Centroamericana. Estos datos se analizan a continuación:

Tabla XVIII. **Consumo teórico por toma y porcentaje de consumo**

<b>Consumo teórico por toma de sistema de aire comprimido</b>		
Área	Consumo (L/s)	% de total consumo (L/s)
Mezclas	63,45	35,44 %
Hornos	2,83	1,58 %
Prensas	53,07	29,65 %
Foamy Eva	45,02	25,15 %
Sandalia Y Puerto Rico	4,76	2,97 %
Laboratorio	8,26	4,61 %
Calderas	1,42	0,79 %
<b>Total</b>	<b>177,07</b>	<b>100,00 %</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se puede observar los diferentes consumos por áreas, y el porcentaje de cada una de ellas, en la entrega total del sistema a máxima demanda.

El área de mezclas es la que mayor demanda de aire, tiene esto debido a equipos de gran tamaño y volumen como lo son los mezcladores Bunbury y Kneader a estos se debe sumar el Molino No. 42, estos equipos trabajan a la máxima presión que entrega el sistema de 125 PSI. El área de prensas es la segunda en demanda de aire esto debido a que cuenta con una gran cantidad de pistolas de sopletear, pistolas mezcladoras de aire silicone, y válvulas de control de flujo para prensas, que se utilizan constantemente en la operación.

Por último, se tiene el área de *Foamy* / EVA que es el área más nueva en la empresa, el mayor consumo se encuentra es un mezclador Kneader, similar al que se encuentra en el área de mezclas. Dentro de esta área se encuentran más equipos los cuales por temas de producción los tienen fuera de servicio, aunque están conectados al sistema, pero para efectos de este estudio se indicó no tomarlos en cuenta. Como se indicó anteriormente estos son datos teóricos y no operativos porque la carga varía en función a como la requiere la producción.

### **2.3.1. Cálculo de cargas en sistema neumático central**

Esta área representa un porcentaje menor al 0,90 % de consumo en caudal CFM. Debido a esto, la carga en este sistema no se tomará en cuenta para este estudio.

### **2.3.2. Cálculo de cargas en área de mezclas**

En este lugar se mezclan varios tipos de hule materia prima para el proceso del látex, así como aditivos que le dan las propiedades mecánicas y de resistencia, según el producto que se necesite fabricar por parte de producción.

Este proceso se alcanza haciendo pasar el material por molinos y mezcladores hasta alcanzar los requerimientos y estándares necesarios antes de ser entregado a la fase del proceso correspondiente, este consiste en entregar planchas para su conformación en el proceso siguiente. Las cargas más significativas en esta área la constituyen:

Tabla XIX. **Cargas en área de mezclas**

<b>Mezclas</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
1	Molino 42	8,08	8,08
1	Mezclador Kneader	21,24	21,24
1	Mezclador Bambury	28,32	28,32
7	Pistola de sopletear	0,71	4,96
1	Barreno neumático	0,85	0,85
<b>Carga total</b>			<b>63,45</b>

Fuente: elaboración propia.

Los mezcladores y molino de esta área son equipos de gran tamaño es aquí donde inicia el proceso de látex para la elaboración de los distintos productos que ofrece la empresa Látex Centroamericana.

### **2.3.3. Cálculo de cargas en área de hornos**

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de laboratorio de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XX. **Cargas en el área de hornos**

<b>Hornos</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
4	Pistola de sopletear	0,71	2,83
<b>Carga total</b>			<b>2,83</b>

Fuente: elaboración propia.

En el área de hornos se utiliza pistolas de sopletear para la limpieza de las parrillas donde se ingresan las planchas de látex para realizar el proceso de homogenización.

#### 2.3.4. **Cálculo de cargas en área de prensas**

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de laboratorio de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XXI. **Cargas en el área de prensas**

<b>Prensas</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
1	Raspadora de suela	2,47	2,47
2	Raspadoras de banda	2,36	4,72
2	Fresadora	1,42	2,83
2	Pegadoras de banda	1,13	2,27
36	Bombas Sinclair	0,07	2,55
40	Pistolas aire/silicone	0,71	28,32

Continuación tabla XXI.

14	Pistola de sopletear	0,71	9,91
<b>Carga total</b>			<b>53,07</b>

Fuente: elaboración propia.

En el área de prensas se utilizan equipos tales como pistolas que combinan aire y silicone. Estas pistolas son utilizadas para aplicar el silicone a los moldes de la prensa antes de ingresar la plancha de látex, esto con el propósito que estas no se peguen a los moldes dentro del proceso. Por otra parte, se utilizan pistolas de sopletear para la limpieza de los moldes y dentro del área de trabajo. En los cálculos posteriores se divide esta área de manera en que se numeran cada una de las prensas.

### 2.3.5. Cálculo de cargas en área de *foamy* Eva

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de *foamy* Eva de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XXII. Cargas en el área de *foamy* Eva

<b><i>Foamy / Eva</i></b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
1	Mezclador Kneader	21,25	21,25
4	Pistolas aire/silicone	0,71	2,83
16	Pistola de sopletear	0,71	11,33
2	Pegadoras	4,72	9,44

Continuación tabla XXII.

2	Bombas Sinclair	0,08	0,17
<b>Carga total</b>			<b>45,02</b>

Fuente: elaboración propia.

En el área de foamy Eva se cuenta con un mezclador, pistolas de aire, pistolas para sopletear, pegadoras y bombas Sinclair.

### 2.3.6. Cálculo de cargas en área de sandalias y Puerto Rico

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de sandalias y Puerto Rico de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XXIII. Cargas en el área de sandalias y Puerto Rico

<b>Sandalia Y Puerto Rico</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
4	Pistola de sopletear	0,71	2,83
3	Perforadora de suela	0,643	1,93
<b>Carga total</b>			<b>4,76</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.7. Cálculo de cargas en área de laboratorio

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de laboratorio de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XXIV. **Cargas en el área de laboratorio**

<b>Laboratorio</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
1	Viscosímetro	1,66	1,66
1	Reómetro	1,18	1,18
3	Pistola de soplear	0,71	2,12
1	Agitador neumático	0,94	0,94
1	Mezclador Kneader	2,36	2,36
<b>Carga total</b>			<b>8,26</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.8. Cálculo de cargas en área de calderas

La siguiente tabla muestra las cargas en el área de calderas de la planta Látex Centroamericana:

Tabla XXV. **Cargas en el área de calderas**

<b>Calderas</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga unitaria (L/s)</b>	<b>Carga total (L/s)</b>
2	Pistola de soplear	0,71	1,42
<b>Carga total</b>			<b>1,42</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL EQUIPO DE AIRE COMPRIMIDO**

#### **3.1. Tecnología para la producción de aire comprimido**

Existen diversas formas de producir aire comprimido, en esta organización se utilizan los compresores de tornillo.

##### **3.1.1. Compresores de tornillos**

Estos compresores son los utilizados dentro de la planta de Látex Centroamericana. Los compresores de tornillo son del tipo volumétrico. Estos se componen de un rotor macho y un rotor hembra, los cuales por medio de lóbulos se unen por medio de la rotación. En otras palabras, se impulsan mediante engranajes sincronizados que tienen gran exactitud. El rotor macho absorbe la potencia suministrada del motor en un 85 % a 90 %.<sup>27</sup>

Los compresores de tornillo tienen una compresión interna, debido a la figura que poseen los tornillos. Los compresores dependen también de las etapas en las que trabajan para llegar a la presión que se desea. Los compresores de dos etapas constan de cuatro rotores, en donde dos de los rotores son primarios y dos son secundarios que son arrastrados por los rotores primarios.<sup>28</sup>

#### **3.2. Descripción del equipo**

A continuación, se encuentran las descripciones técnicas de cada uno de los compresores que se encuentran funcionando actualmente dentro de la organización.

---

<sup>27</sup> CARNICER, Enrique. *Aire comprimido*. p. 72.

<sup>28</sup> *ibid.* p. 74.

### 3.2.1. Compresor marca INGERSOLL-RAND

Este compresor es de la línea SSR-EP50, de acuerdo al manual del fabricante se dan las siguientes indicaciones: no apuntar las boquillas de aire o pulverizadores a otras personas, utilizar protección para los ojos cuando se opera o se da mantenimiento al compresor, todas las personas que se encuentren cerca de la máquina deben estar equipados con protección auditiva, la máquina no se debe utilizar cerca de áreas con gases inflamables, entre otras. Se indica a continuación la forma de instalación para este compresor.<sup>29</sup>

Figura 24. Instalación compresor Ingersoll-Rand

60Hz	UP6 40				UP6 50PE UP6 50PEI			
					HF50-PE	EP50-PE	HP50-PE	HXP50-PE
<b>COMPRESSOR</b>	115	125	150	200	115	125	150	200
Maximum operating pressure psig (barg)	115 (8.0)	125 (8.5)	150 (10.3)	200 (13.8)	115 (8.0)	125 (8.5)	150 (10.3)	200 (13.8)
Factory set reload pressure psig (barg)	105 (7.2)	115 (7.9)	140 (9.6)	190 (13.1)	105 (7.2)	115 (7.9)	140 (9.6)	190 (13.1)
Flow rate cfm (m <sup>3</sup> /min)	188 (5.32)	185 (5.24)	170 (4.81)	143 (4.05)	212 (6.02)	208 (5.89)	201 (5.70)	167 (4.73)
Maximum airoend discharge temperature	216°F (102°C)							
Ambient operating temperature min. →max.	36°F(+2°C) ? 105°F(+40°C)				36°F(+2°C) ? 115°F(+46°C)			
<b>MOTOR</b>								
Motor enclosure	ODP		TEFC		ODP		TEFC	
Nominal power	40HP				50HP			
Speed	1775 RPM				1775 RPM			
Frame	324T		324T		326T		326T	
Insulation class	F							

Fuente: INGERSOLL RAND. *Operation and maintenance manual.*

<https://catalog.jamiesonequipment.com>.

En el caso del mantenimiento que se debe dar a este tipo de compresor se establece lo siguiente:

<sup>29</sup> INGERSOLL RAND. *Operation and maintenance manual.*  
<https://catalog.jamiesonequipment.com>.

Tabla XXVI. **Mantenimiento compresor Ingersoll-Rand**

Período	Mantenimiento
Cada 24 horas de trabajo	<p>Inspeccionar visualmente la máquina por si tiene fugas, acumulación de polvo y comprobar si produce ruidos o vibraciones inusuales.</p> <p>Comprobar visualmente el estado del filtro previo.</p> <p>Si el indicador del filtro de aire pasa a rojo antes de un período de cambio de 2 000 horas/año comprobar el estado del filtro.</p>
Cada 150 horas	Cambiar el filtro de refrigerante.
Cada mes o 100 horas	<p>Desmontar y limpiar el filtro previo de la unidad, cambiar de ser necesario.</p> <p>Comprobar accesorios por si sufren fugas, apretarlos si se requiere.</p>
Cada 2 000 horas o 6 meses	<p>Tomar una muestra de refrigerante para analizar.</p> <p>Comprobar el tamiz de barrido por si sufre atascos.</p>
Cada año o 2 000 horas	<p>Cambiar el filtro del refrigerante.</p> <p>Cambiar los cartuchos del separador.</p> <p>Cambiar el filtro previo de la unidad.</p> <p>Comprobar la correa accionadora y el muelle tensor de gas</p> <p>Cambiar el elemento del filtro de aire.</p> <p>Comprobar la aleta de la válvula de entrada y repararla de ser necesario.</p> <p>Comprobar el nivel de aceite del refrigerante del compresor.</p>

Continuación tabla XXVI.

<p>Cada dos años o 8 000 horas</p>	<p>Cambiar la correa de accionamiento y el muelle de gas.          Inspeccionar y cambiar todos los elementos incluidos dentro del servicio de las 2 000 horas.          Montar las siguientes piezas según proceda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvulas de solenoide</li> <li>• Kit de válvulas de entrada</li> <li>• Asiento de válvula de presión mínima</li> <li>• Actuador de la válvula termostática</li> </ul> <p>Desmontar, limpiar y engrasar de nuevo los cojinetes de motor de los motores ODP.</p>
<p>Cada cuatro años o 16 000 horas</p>	<p>Reemplazar todos los manguitos.          Desmontar, limpiar y engrasar de nuevo todos los cojinetes de motor de los motores ODP.          Montar puntas de contactores eléctricos de repuesto.</p>
<p>Cada seis años</p>	<p>Quitar la chapa de la tapa del tanque separador y los accesorios necesarios. Limpiar a fondo el interior e inspeccionar todas las superficies exteriores.</p>

Fuente: INGERSOLL RAND. *Operation and maintenance manual*.  
<https://catalog.jamiesonequipment.com>. Consulta: 10 de enero de 2020.

### 3.2.2. Compresor marca KAESER

En el caso de este compresor se tienen las siguientes indicaciones generales: operar el equipo dentro de los límites de desempeño y bajo las condiciones ambientales permitidas, no emplear el aire comprimido en

aplicaciones respiratorias a menos que sea tratado específicamente para ello, no usar aire comprimido en ninguna aplicación que entre en contacto directo con comestibles a menos que sea tratado específicamente para tal propósito. El personal que está calificado a operar el compresor debe ser mayor de edad, conocer y acatar las instrucciones de seguridad y operativas, recibir el entrenamiento adecuado y autorización para operar los dispositivos.

Entre las especificaciones técnicas del equipo se tiene que poseer un peso de 2 172 lb. La temperatura mínima de conexión es de 40F, la temperatura final de compresión típica durante la operación va de 167F-200F, y la máxima temperatura final de compresión que incluye un apagado automático de seguridad es de 230F. Las condiciones ambientales a las que trabaja son máxima elevación SNM son 3000 pies, temperatura ambiente de 40F-115F, temperatura del aire de enfriamiento de 40F-115F, y temperatura del aire de admisión de 40F-115F.<sup>30</sup>

En el caso del mantenimiento de este equipo se tienen las siguientes indicaciones:

**Tabla XXVII. Mantenimiento del compresor Kaeser**

Período	Mantenimiento
Semanalmente	Verificar el nivel de aceite de enfriamiento. Revisar el manto filtrante. Revisar el drenaje de condensado.
Hasta las 1 000 horas	Mantenimiento al intercambiador de calor. Revise el manto filtrante.
Hasta las 3 000 horas	Cambie el manto filtrante. Cambie el manto filtrante del tablero eléctrico.
Hasta las 6 000 horas	Cambiar módulo de servicio del condensado.
De acuerdo al refrigerante en uso	Cambie el aceite refrigerante.

<sup>30</sup> KAESER KOMPRESSOREN SE. *Manual de servicio compresor de tornillo.* [https://www.academia.edu/37144103/Manual\\_de\\_Servicio\\_Compresor\\_de\\_Tornillo\\_BSD\\_SIGMA\\_CONTROL\\_2?auto=download](https://www.academia.edu/37144103/Manual_de_Servicio_Compresor_de_Tornillo_BSD_SIGMA_CONTROL_2?auto=download).

Continuación tabla XXVII.

Una vez al año	Revisar la válvula de alivio de seguridad. Revisar la función de apagado de seguridad por sobrecalentamiento. Prueba del dispositivo de paro de emergencia. Verificar que el enfriador no presente fugas. Revisar el sistema de agua de enfriamiento. Mantenimiento del sistema de recuperación térmica. Verificar que todas las conexiones eléctricas se encuentren bien ajustadas.
----------------	--

Fuente: KAESER KOMPRESSOREN SE. *Manual de servicio compresor de tornillo.*  
[https://www.academia.edu/37144103/Manual\\_de\\_Servicio\\_Compresor\\_de\\_Tornillo\\_BSD\\_SIGMA\\_CONTROL\\_2?auto=download](https://www.academia.edu/37144103/Manual_de_Servicio_Compresor_de_Tornillo_BSD_SIGMA_CONTROL_2?auto=download). Consulta: 10 de enero de 2020.

### 3.3. Localización

El área de compresores se encuentra ubicada en el ala norte de la planta al centro de la propiedad en un área cerrada por dos paredes perimetrales y dos divisiones de hierro y tabla cemento sus diferentes colindancias son las siguientes:

- Hacia el Norte por un muro perimetral y un pasillo de ventilación de 1,65 m De ancho el cual recorre desde el cuarto de compresores hasta las oficinas de mantenimiento.
- Hacia el sur por el área de raspadoras y pasillo principal.
- Hacia el este por el área de bodega de moldes.
- Hacia el oeste por el área de hornos.

Actualmente el cuarto no cuenta con ventilación solo las tolvas de extracción de calor de los compresores, con acceso por el área de bodega de

moldes. El tanque acumulador se encuentra al costado opuesto de la planta, y el sistema no cuenta con secador frigorífico de aire. En las siguientes figuras se aprecian las diferentes colindancias y la instalación de los compresores

Figura 25. **Localización del área de compresores 1**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 26. **Localización del área de compresores 2**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 27. **Localización del área de compresores 3**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 28. **Localización del área de compresores 4**



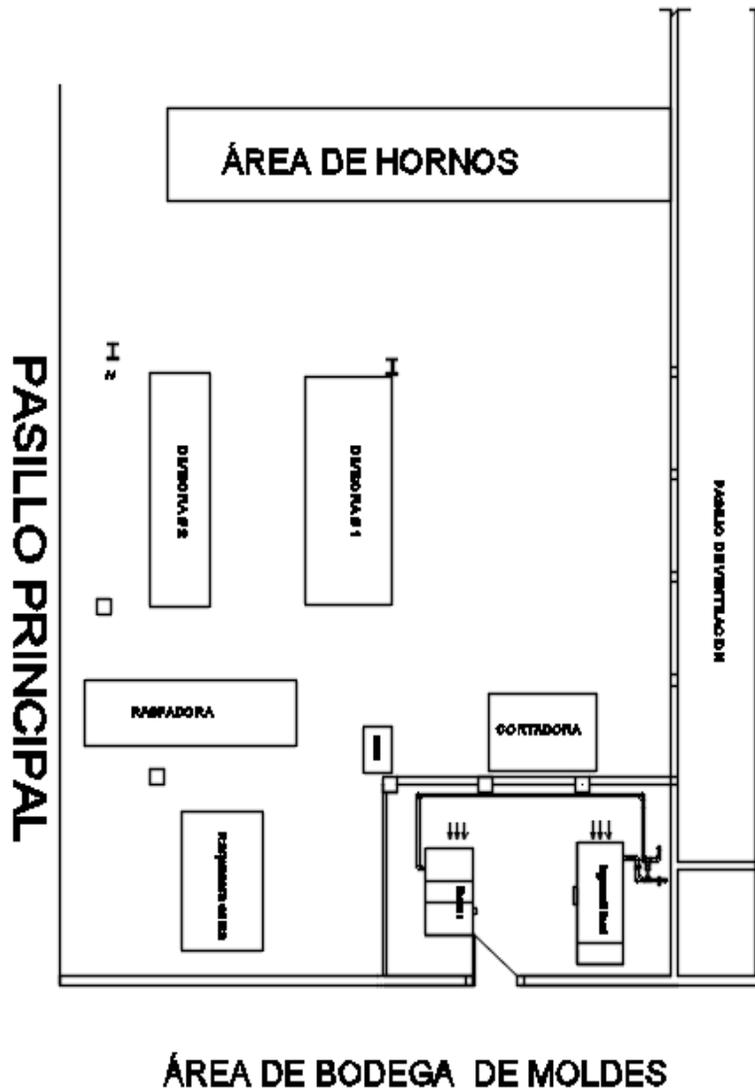
Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 29. **Localización del área de compresores 5**



Fuente: Látex Centroamericana.

Figura 30. Localización actual del cuarto de compresores



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

## **4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL CUARTO DE COMPRESORES**

Por todos los aspectos antes descritos se hace necesario realizar un nuevo diseño del cuarto de compresores esto con el fin de tener un espacio y condiciones adecuadas para que los equipos funcionen en las mejores condiciones que les permitan una entrega de aire de calidad al sistema.

### **4.1. Reubicación del cuarto de compresores**

En búsqueda de una mejor operación de los equipos y tener un área adecuada para las labores de mantenimiento es necesario cambiar condiciones tales como:

- Espacio físico
- Toma de aire fresco y ventilación

#### **4.1.1. Espacio físico**

Actualmente tanto el acceso, como el espacio que se tiene para operar y realizar actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, es muy justa tomando en cuenta que en ella únicamente se encuentran los compresores.

Es por esta razón la propuesta es ampliar el área de generación de aire comprimido hacia el oeste de las mismas porque es un espacio donde no es necesario realizar mayores movimientos de equipos y de instalaciones

En este espacio se encuentran una cortadora y una perforadora de pequeñas dimensiones, adecuadas para ser trasladada hacia el ala sur del cuarto tal como se observa en plano adjunto,

#### **4.1.2. Toma de aire y ventilación**

Un aspecto importante para el buen funcionamiento de las unidades compresoras, para permitir alargar la vida útil del equipo y entregar aire de calidad al sistema es la toma de aire fresco.

Tomando en cuenta el funcionamiento de los compresores de tornillo es importante las condiciones de temperatura del aire que aspiran porque si esta es elevada tendrá efecto directo en la eficiencia y condiciones de operación. Otro aspecto de igual importancia para el funcionamiento es la ventilación necesaria para el sistema de enfriamiento de los compresores de tornillo. El elemento refrigerante de un compresor de tornillo es el aceite especialmente para tres funciones fundamentales:

- Lubricar

La lubricación se realiza con aceite. Este aceite se utiliza para lubricar los tornillos y los rodamientos.

- Sellar

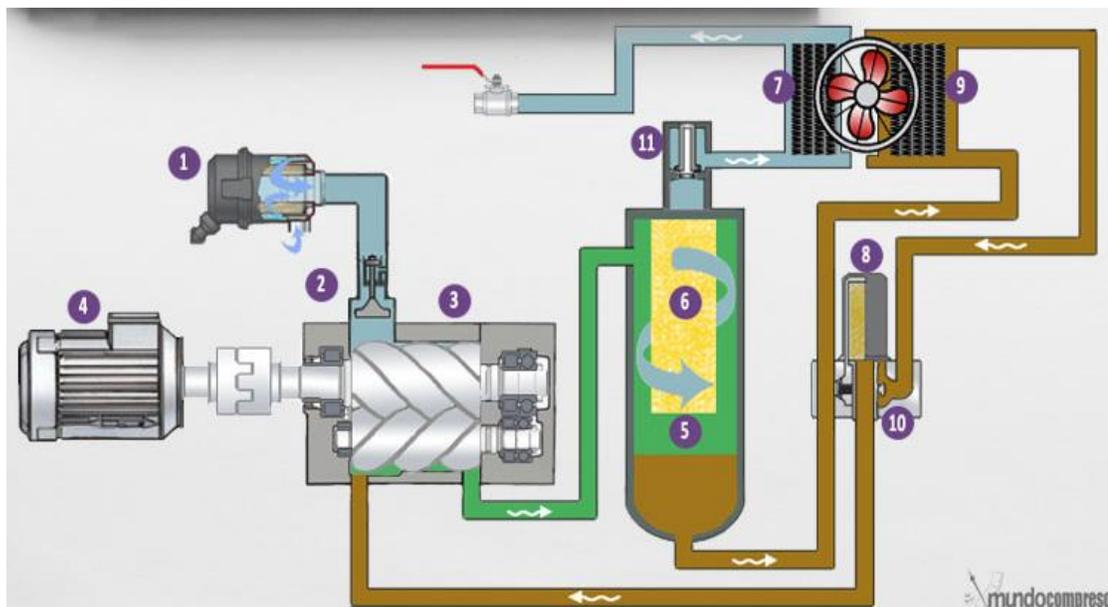
Es muy importante que la mínima tolerancia existente entre los rotores quede sellada con el propio aceite de lubricación y evite la pérdida de eficiencia del conjunto.

- Enfriar

El enfriamiento se realiza con aceite, al igual que la lubricación. Este aceite inyectado es el fluido refrigerante con el cual se evacua el calor de compresión.

En la siguiente imagen se ilustra la forma en la que opera este sistema involucrando el sistema de lubricación por medio de aceite.

Figura 31. **Funcionamiento de un compresor de tornillo**



Fuente: Mundocompresor. *Cómo funciona un compresor de tornillo lubricado.* <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/como-functiona-compresor-tornillo-lubricado>. Consulta: 27 de diciembre de 2019.

En busca de estas condiciones se fabricarán tres ingresos de aire uno por compresor de 1,80 m de ancho por 1,00 m de alto y un tercero de 1,50 m de ancho por 2,00 m de alto para el enfriador frigorífico de aire; aprovechando que se cuenta con un pasillo de ventilación de 1,65 m en paralelo a la pared de la propiedad donde se tiene una corriente constante de aire del exterior según plano de reubicación y diseño de cuarto de compresores.

## **4.2. Reubicación de las tuberías**

Para efectos de este estudio se centrarán en las redes principales realizando los cambios necesarios en busca de optimizar el sistema de aire comprimido dentro de los cambios están:

- Cambio de tanque acumulador
- Disponer de dos redes principales cerradas para toda la planta
- Instalación de secador refrigerativo al sistema

### **4.2.1. Cambio de tanque acumulador**

El tanque actual, el cual tiene más de 30 años de estar en funcionamiento, con las condiciones de condensado en el sistema y sin haber tenido ningún tipo de mantenimiento durante todo este tiempo. Esta información fue obtenida del jefe de mecánicos, quien tiene ese tiempo de estar laborando para la empresa. Por lo que se considera que lo más seguro para el sistema y para los colaboradores es instalar un tanque nuevo que cumpla con las especificaciones necesarias para el nuevo sistema.

El tanque acumulador es muy importante en un sistema de aire comprimido por las siguientes razones:

- Ayuda a reducir pulsaciones que se producen en los compresores.
- Compensa las oscilaciones de presión en la red debidas al consumo y al flujo.
- Permite tiempos de descanso que mejoran el equilibrio térmico y la vida útil tanto de compresor como su motor de accionamiento.
- Puede funcionar como tanque húmedo o tanque seco esto dependiendo de la existencia o no de un secador refrigerativo, y en el caso que solo se tenga

un tanque disponible para el sistema en ambas condiciones su función es enfriar el aire, recoger y evacuar gran cantidad de condensado del sistema por medio de la purga.

- Retiene las impurezas procedentes del compresor.

Para poder dimensionar el tanque adecuado para la operación se utilizará la siguiente fórmula:

Figura 32. **Fórmula para dimensionar el tanque acumulador**

$$V = \frac{T \times (C - S) \times P_a}{P_1 - P_2}$$

V = Volumen del tanque de almacenamiento (pies<sup>3</sup>/min)  
T = Lapso de tiempo para que ocurra caída de presión (minutos)  
C = Caudal requerido de aire comprimido  
S = Caudal de aire excedente del compresor  
P<sub>a</sub> = Presión atmosférica absoluta  
P<sub>1</sub> = Presión al corte  
P<sub>2</sub> = Presión carga

Fuente: EACSA. *Cómo calcular un tanque de almacenamiento de aire comprimido.*  
<http://energiaenaire.com.mx/como-calcular-un-tanque-de-almacenamiento-de-aire-comprimido/>.

Consulta: 12 de enero de 2020.

Se utilizarán los datos del estudio de operación realizado por Kaeser.

T= lapso de tiempo para que ocurra la caída de presión se tomará 2 min.

C= se tomará el caudal máximo encontrado en el estudio.

S= se tomará el dato promedio máximo del compresor titular de 203,13 CFM.

Pa= se tomará para Guatemala a 1 700 m. s.n.m. una presión de 0,89875 bar o 13,035 PSI.

P1= presión de corte de 120 PSI.

P2= presión de carga de 110 PSI.

Ingresando los datos se tiene lo siguiente:

$$V = \frac{2min * \left( 203,13 \frac{ft^3}{min} - 37,87 \frac{ft^3}{min} \right) * 13,035Psi}{120Psi - 100Psi}$$
$$= 215,41ft^3 \text{ o } 6\ 088,12 L$$

Realizando conversión 1 000 L es equivalente a 1,0 m³, por lo que el volumen del tanque sería de 6,088 m³.

Debe de tomarse en consideración que existen equipos que en un futuro pueden utilizarse para la producción en la planta. Al considerar la oferta del mercado, así como los costos, la capacidad que más se adecua a las necesidades es de 10,0 m³ analizando la demanda teórica de aire y considerando que el instalado actualmente es de capacidad similar.

#### **4.2.2. Reubicación de tuberías**

Realizando un análisis de los puntos de mayor consumo, y la distribución actual procederá a realizar los siguientes cambios:

- Eliminar el ramal No 5 que retorna desde el tanque hasta el área de mezclas teniendo un mínimo de consumo en todo su recorrido reubicando en los nuevos anillos los consumos que sean necesarios.
- Eliminar un tramo considerable del Ramal No.1 ya que el tanque actual ya no será utilizado, así como su ruta de alimentación.

- Realizar dos redes cerradas con sus respectivas pendientes para drenado del sistema.

#### 4.2.2.1. Cálculo de diámetro de nuevos anillos

Con el fin de determinar el diámetro de los nuevos anillos se utiliza la siguiente fórmula>

$$d_i = \sqrt{\frac{1,6 * 10^3 * V^{1,85} * L}{\Delta P * P_s}}$$

En donde:

$d_i$  = diámetro interno del tubo (m)

V = Flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

L = Longitud nominal (m)

$\Delta P$  = Caída de presión (Pa)

$P_s$  = Presión del sistema absoluta (Pa)

Con el fin de estimar el diámetro interno de la tubería debe de estimarse inicialmente la longitud nominal por medio del análisis de los anillos. En el caso del anillo 1, se tiene que la longitud equivalente de cada codo a 90° es de 50 veces el diámetro de la tubería, por tanto, asumiendo de un diámetro de 0,0508 m la longitud equivalente se calcula como sigue:

$$L_{eq} = 50D = 50 * 0,0508 = 2,54m$$

En este caso se sabe que son cuatro elementos de codo en la tubería, por tanto, se tiene una longitud equivalente total de 10,16 m. De manera similar se calcula con los demás accesorios por cada una de las tuberías en los distintos anillos. La longitud equivalente de las T se estima con 2 veces el diámetro de la tubería, y para las llaves de compuerta como 8 veces el diámetro de tubería. Según los cálculos para el anillo 1 se resume como sigue:

Tabla XXVIII. **Datos de anillo No. 1 referencia diámetro de 0,0635 m**

Longitud (m)	140,80
Cantidad de codos	4
Cantidad de T	12
Cantidad de unión universal	4
Cantidad de llaves de compuerta	7

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se encuentran resumidas las mediciones de longitud equivalente para el anillo número 1:

Tabla XXIX. **Longitud equivalente anillo 1**

Accesorio	Longitud equivalente (m)	Longitud Total (m)
Codo a 90°	10,16	10,16
T	12,192	22,352
Llave de compuerta	2,845	25,197

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Derivaciones de anillo No. 1 referencia diámetro 0,0127 m**

Longitud de derivaciones en m	235
Cantidad de codos	58
Cantidad de uniones universales	25
Cantidad de t	50
Cantidad de llaves de compuerta	25
Cantidad de llaves de bola	12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Datos de anillo No. 2 referencia diámetro de 0,0635 m**

Longitud (m)	261,30
Cantidad de codos	4
Cantidad de t	6
Cantidad de unión universal	3
Cantidad de llaves de compuerta	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Derivaciones de anillo No. 2 referencia diámetro 0,0127 m.**

Longitud de derivaciones en m.	524
Cantidad de codos	70
Cantidad de uniones universales	38
Cantidad de t	60
Cantidad de llaves de compuerta	30
Cantidad de llaves de bola	10
Reductores de 1/2 a 1/4	24

Fuente: elaboración propia.

Se estima el cambio de presión con una pérdida permisible de 1,5 % hasta 2 % dentro del sistema. Y consiguiente se debe de estimar este en unidades de pascales, por lo que se hace la conversión de 1 Pascal es equivalente a 0,000145 Psi.

$$\Delta P = 125Psi * 1,5\% = 862\ 068,966Pa * 1,5 = 129\ 310,34Pa$$

El flujo volumétrico del sistema se tiene en  $\text{ft}^3/\text{min}$ , por lo que debe convertirse en  $\text{m}^3/\text{s}$ , de la siguiente manera:

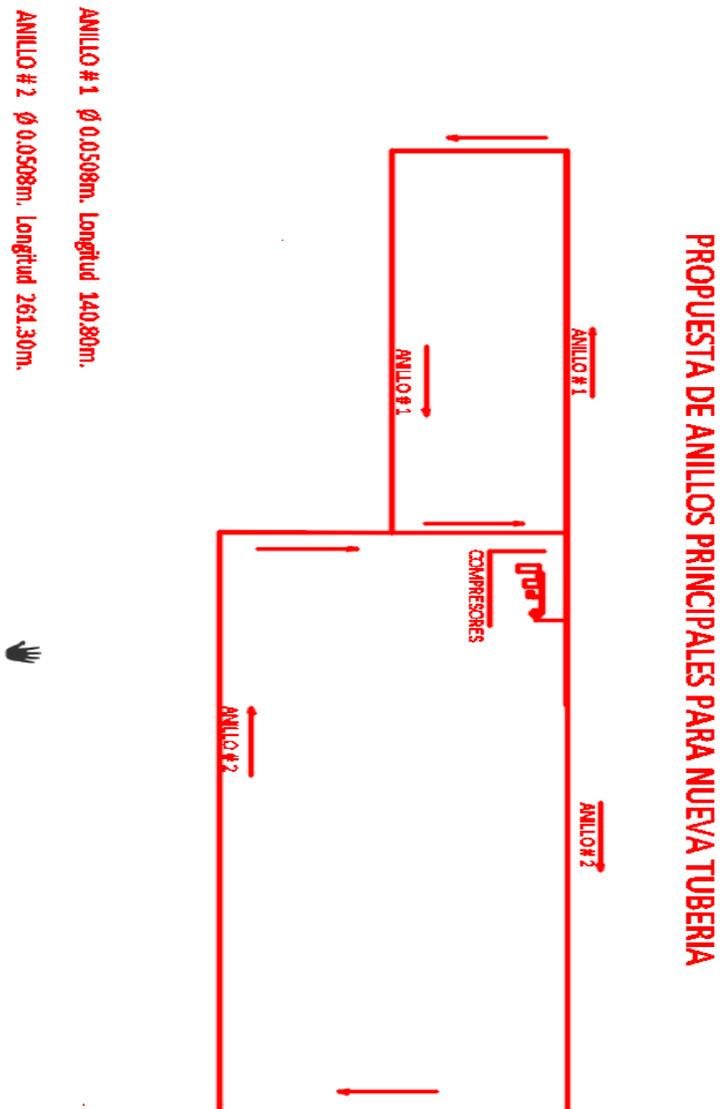
$$203,13 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * \frac{1\text{m}^3}{35,31\text{ft}^3} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 0,09587 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Como siguiente paso se sustituyen los valores dentro de la fórmula para estimar el diámetro de tubería.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 * 10^3 * V^{1,85} * L}{\Delta P * P_s}} = \sqrt[5]{\frac{1,6 * (0,09587)^{1,85} * 166}{12\,931,03 * 862\,068,96}} = 0,049\text{m} \cong 2''$$

Por lo que se obtiene el diámetro interno de la tubería de 2 pulgadas. Posterior a esto, se propone el siguiente plano en donde se especifica el plano de las tuberías:

Figura 33. Propuesta de anillos para la nueva tubería

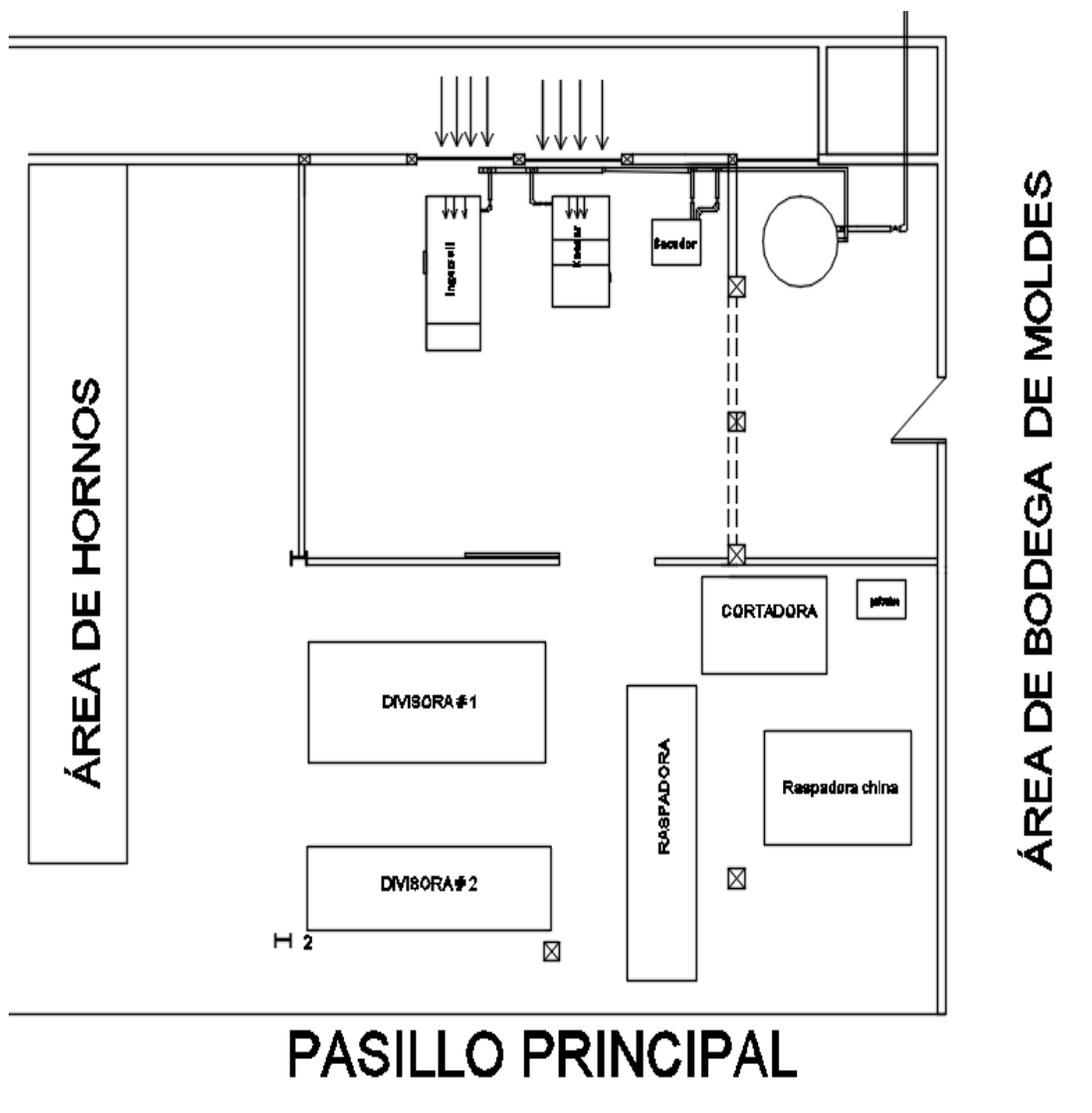


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

### 4.3. Planos del cuarto de compresores

A continuación, se presenta la propuesta de reubicación del cuarto de compresores.

Figura 34. Reubicación del cuarto de compresores



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

### 5.1. Costo de optimización de sistema de aire comprimido

La propuesta para optimizar el sistema de aire comprimido actual se basa en los siguientes aspectos:

- Adquisición de equipos para optimización
  - Secador frigorífico
  - Tanque acumulador de 10 m<sup>3</sup>
- Realizar cambio en el sistema de tuberías o ramales principales actuales.
  - Desmontaje de tubería de ramales que y no serán utilizados.
  - instalación de tubería para dos anillos principales.
- Nueva distribución de compresores y equipos para sistema de aire comprimido, obra civil, entre otros.
- Instalaciones eléctricas fuerza e iluminación.

#### 5.1.1. Secador frigorífico

Se desea adquirir un secador frigorífico de la misma marca del compresor titular (Kaeser), por lo que ante esta situación los cálculos de capacidad y se realizaran con la formula y ficha técnica de esta marca.

Tabla XXXIII. Datos para el cálculo

Descripción	Valor
Presión de operación (Pa)	861 845

Continuación tabla XXXIII.

Flujo volumétrico (L/s)	95,88
Temperatura ambiente (°C)	25
Temperatura de admisión de aire (°C)	40

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la siguiente formula

$$V_{max} = V_0 \cdot K_p \cdot K_{te} \cdot K_{ta}$$

Donde

- $V_{max}$ = volumen máximo de secador refrigerativo.
- $V_0$  = Volumen de operación.
- $K_p$ = factor de corrección operativa por presión.
- $K_{te}$ = factor de corrección operativa por temperatura entrada del compresor.
- $K_{ta}$ = factor de corrección operativa por temperatura ambiente.

Aplicando la formula y tomando los datos de tabla 33 se obtiene lo siguiente:

$$V_{max} = 203,13 \cdot 1,05 \cdot 0,83 \cdot 1,00 = 185,87 \text{ CFM o } 87,32 \text{ L/s}$$

Con este dato se procede a seleccionar el secador frigorífico según las necesidades del listado del proveedor, se encontró que el secador que cubre la necesidad es el modelo TD5i que tiene las siguientes características:

Tabla XXXIV. **Características del secador**

Modelo	TD 51
Flujo Volumétrico (L/s)	94,4

Continuación tabla XXXIV.

Potencia 100 % flujo KW	0,86
Alimentación eléctrica	230/460 V. 60Hz. 3 Ph.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Costo de operación y compra**

Costo compra	Q119 200,00
Costo energía eléctrica anual	Q3 668,52
Costo mantenimiento anual	Q1 850,00
Costo total operación y compra	Q124 718,52

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Especificaciones técnicas del modelo de secador**

Modelo		Serie TA			Serie TB		Serie TC			Serie TD		
		5	8	11	19	26	31	36	44	51	61	76
Flujo volumétrico <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /min	0,60	0,85	1,25	2,10	2,55	3,20	3,90	4,70	5,65	7,00	8,25
Pérdida de presión del secador frigorífico <sup>1</sup>	bar	0,07	0,14	0,17	0,19	0,20	0,15	0,16	0,15	0,11	0,15	0,17
Pot. eléct. absorbida al 100 % del volumen <sup>1</sup>	kW	0,29	0,29	0,28	0,55	0,64	0,76	0,88	0,92	0,86	1,10	1,40
Pot. eléct. absorbida al 50 % del volumen <sup>1</sup>	kW	0,17	0,15	0,15	0,30	0,34	0,41	0,48	0,49	0,47	0,61	0,77
Peso	kg	70	80	85	108	116	155	170	200	251	251	287
Dimensiones an x prof x al	mm	630 x 484 x 779			620 x 540 x 963		764 x 660 x 1009			1125 x 759 x 1187		
Conexión de aire comprimido	G	¾			1		1 ¼			1 ½		2
Conexión de purga de condensado	G	¼			¼		¼			¼		
Alimentación eléctrica		230 V/1 Ph/50 Hz			230 V/1 Ph/50 Hz		230 V/1 Ph/50 Hz			400 V/3 Ph/50 Hz		

Fuente: *Manual de uso secador Kaeser modelo TD51*. p.18.

Figura 36. Especificaciones técnicas

Modelo*)	Flujo volumétrico a 100 psi Presión de trabajo máx.**	Pérdida de presión	Potencia efectiva consumida **)			Alimentación eléctrica	Conexión de aire comprimido (rosca interior)	Conexión drenaje de condensado	Dimensiones A x A x L	Peso
			al 100% del flujo volumétrico	al 50% del flujo volumétrico	al 10% del flujo volumétrico					
	cfm	psi**)	kW	kW	kW				mm	kg
TA 5	20	1,0	0,25	0,14	0,04	115 V 60 Hz 1Ph	G ¼	G ¼	630 x 484 x 779	70
TA 8	30	2,0	0,25	0,14	0,04					80
TA 11	45	2,5	0,28	0,15	0,04					85
TB 19	70	2,7	0,43	0,24	0,06	115 V 60 Hz 1Ph	G 1	DN 10	620 x 540 x 963	108
TB 26	95	2,9	0,61	0,34	0,09					116
TC 31	115	2,1	0,73	0,40	0,11	115 V 60 Hz 1Ph	G 1½	DN 10	774 x 660 x 1009	155
TC 36	135	2,3	0,80	0,44	0,12					170
TC 44	170	2,1	0,90	0,50	0,14					200
TD 51	200	1,6	0,86	0,47	0,13	230/460 V 60 Hz 3 Ph	G 1½	DN 10	759 x 1125 x 1187	251
TD 61	240	2,1	1,10	0,61	0,17					251
TD 76	285	2,5	1,40	0,77	0,21		G 2			287
TE 91	360	2,1	1,15	0,63	0,17	230/460 V 60 Hz 3 Ph	G 2	2 x DN 10	1060 x 1520 x 1513	570
TE 121	460	2,6	1,45	0,80	0,22					660
TE 141	520	3,5	1,60	0,88	0,24					660
TF 173	600	2,5	2,10	1,16	0,32	460 V 60 Hz 3 Ph	DN 65	2 x G ¼	1060 x 1757 x 1900	660
TF 203	720	2,3	2,20	1,21	0,33		DN 80			850
TF 251	885	2,8	2,50	1,38	0,38		850			

Fuente: Manual de uso secador Kaeser modelo TD5. p.21.

Figura 37. Factores de corrección para condiciones operativas

Factores de corrección para condiciones operativas diferentes (flujo volumétrico en cfm x k...)															
Presión de trabajo distinta a la entrada del secador p															
Modelo	p psi(g)	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150	170	190	210	230
TA-TF	k <sub>p</sub>	0,78	0,85	0,89	0,92	0,96	1,00	1,02	1,05	1,09	1,11	1,14	1,17	1,2	1,23
Temperatura de admisión del aire comprimido T <sub>e</sub>							Temperatura ambiente T <sub>a</sub>								
Modelo	T <sub>e</sub> (°C)	30	35	40	45	50	55	Modelo	T <sub>a</sub> (°C)	25	30	35	40	43	
TA-TF	k <sub>Te</sub>	1,20	1,00	0,83	0,72	0,60	0,49	TA-TF	k <sub>Ta</sub>	1,00	0,99	0,97	0,94	0,92	
Cálculo del flujo volumétrico del secador refrigerativo en otras condiciones operativas:							Secador refrigerativo TB 19 con 70 cfm (V <sub>referencia</sub> )								
Ejemplo							Flujo volumétrico máximo en condiciones operativas								
Presión de trabajo:		145 psi(g)		▷ Tabla		▷ k <sub>p</sub> = 1,10		V <sub>máx. servicio</sub> = V <sub>referencia</sub> x k <sub>p</sub> x k <sub>Te</sub> x k <sub>Ta</sub>							
Temperatura de admisión del aire comprimido:		40 °C		▷ Tabla		▷ k <sub>Te</sub> = 0,83		V <sub>máx. servicio</sub> = 70 cfm x 1,1 x 0,83 x 0,99 = 63,2 cfm							
Temperatura ambiente:		30 °C		▷ Tabla		▷ k <sub>Ta</sub> = 0,99									

Fuente: Manual de uso secador Kaeser modelo TD51. p.45.

Compra de tanque nuevo de 10 000 L.

Por lo antes expuesto es necesario realizar el cambio del tanque acumulador por uno nuevo el cual se especifica en la tabla.

Tabla XXXVI. **Condiciones de operación para el tanque**

Capacidad	10 000 L
Presión máxima	1 103,2/1 585,8 kPa
Altura	5,41 m
Diámetro	1,6 m
Peso	2 200 kg
Costo venta e instalación	Q126 885,00

Fuente: elaboración propia.

### **5.1.2. Costo de desmontaje de tubería antigua y montaje de nuevos anillos**

De los cálculos de diámetro para ambos anillos se establece que el diámetro adecuado es de 2" o 0,0508 m. Como se indicó se reutilizará el material existente tomando en cuenta que se desmontara el ramal No. 5 y parte del ramal No. 1 los cuales serán utilizados para la fabricación de los dos nuevos anillos, por tal razón no se tendrá costo de compra de tubería.

A continuación, se especifica cada uno de estos por medio de cantidad, costo unitario y costo total.

Tabla XXXVII. **Costos de montaje**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Desmontaje de tubería en m	233	Q18,00	Q4 194,00
Montaje de tubería en m	190	Q25,00	Q4 750,00
Tubos de hg de 2"	0	Q00,00	Q0,00
Codos de 2"	8	Q30,00	Q240,00
T de 2"	18	Q45,00	Q810,00
Uniones universales de 2"	7	Q90,00	Q630,00
Soportaría para tubería	1	Q1 800,00	Q1 800,00
Unidad de mantenimiento	20	Q425,00	Q8 500,00
Purgador automático	4	Q700,00	Q2 800,00
Total tubería			Q23 724,00

Fuente: elaboración propia.

El diseño y reubicación del cuarto de compresores emplea también otro tipo de recursos como lo son material de construcción, obra civil, reubicación de equipos, y costos de instalaciones eléctricas estos se detallan a continuación, por cantidad, costo unitario y costo total de cada rubro en la siguiente tabla.

Tabla XXXVIII. **Costo de construcción de cuarto, reubicación de equipos, obra civil**

Descripción	U	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Reubicación de compresores tanque y secador.	U	1	Q3 000,00	Q3 000,00

Continuación tabla XXXVIII.

Conexión de equipos y tuberías.	U	1	Q2 500,00	Q2 500,00
Fabricación de nuevo cuarto de compresores.	U	1	Q10 000,00	Q10 000,00
Obra civil para ventilas de ingreso de aire.	U	1	Q1 500,00	Q1 500,00
Trabajos de herrería.	U	1	Q2 000,00	Q2 000,00
Lámina galvanizada troquelada calibre 26.	m	140	Q54,00	Q7 560,00
Costanera galvanizada de 4"x2".	U	40	Q190,00	Q7 600,00
Total reubicación de equipos y cuarto de compresores.				Q34 160,00

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se realiza el desglose de los costos invertidos en las instalaciones eléctricas para el proyecto de optimización.

Tabla XXXIX. **Costos de instalaciones eléctricas**

Descripción	U	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Instalación de centro de carga y derivaciones.	U	1	Q3 000,00	Q3 000,00
Circuito e instalación de luminarias.	U	1	Q1 300,00	Q1 300,00
Circuito de fuerza.	U	1	Q1 200,00	Q1 200,00
Conexión eléctrica de equipos.	U	1	Q1 800,00	Q1 800,00
Cable THHN # 2.	m	75	Q23,50	Q1 762,50
Centro de carga.	U	1	Q2 000,00	Q2 000,00

Continuación tabla XXXIX.

Luminarias.	U	6	Q200,00	Q1 200,00
Total reubicación de equipos y cuarto de compresores				Q12 262,50

Fuente: elaboración propia.

En resumen, para la implementación de este proyecto los costos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla XL. **Resumen de costos de optimización**

Compra de equipos.	Q251 603,52
Montaje y desmontaje de tubería y accesorios.	Q23 724,00
Construcción de cuarto, reubicación de equipos, obra civil.	Q34 160,00
Instalaciones eléctricas.	Q12 262,50
Total de optimización.	Q321 750,02

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Costo integral del proyecto

Como base para la inversión de un proyecto deben de contemplarse los recursos a invertir en la implementación del mismo, por tanto, debe de estimarse el costo integral del proyecto.

### 5.2.1. Costos fijos

A continuación, se encuentran los costos fijos que se encuentran en el proyecto.

### **5.2.1.1. Mantenimiento de la red de aire comprimido**

El mantenimiento de un sistema de aire comprimido se considera como un costo fijo, debido a que este se debe realizar con una frecuencia específica de acuerdo al tipo de equipo. En el caso de la red de aire comprimido debe de revisarse cada compresor de acuerdo al manual de uso.

#### **5.2.1.1.1. Operación y mantenimiento de accesorios**

Operación de dos compresores.

Dentro de las mejoras que se establecen en esta propuesta se tienen:

- Trabajar con los dos compresores con los que cuenta la empresa en paralelo.
- Eliminación de las fugas que actualmente afectan al sistema.
- Eliminación de tramos no necesarios de tubería.
- Instalación y Reubicación de nuevo tanque acumulador de 10 000 L.
- Cambio de todos los ramales por dos anillos principales para toda la planta.
- Instalación de secador frigorífico en el sistema de entrega de aire comprimido.

Se estima que con los dos compresores trabajando y estableciendo un periodo de operación del compresor únicamente para la jornada de trabajo el tiempo de operación sería de la mitad de que actualmente opera de tal forma que:

Producción de aire comprimido con dos compresores

$$GTA = GC * HO$$

Donde:

- GTA = generación Total anual en pie<sup>3</sup>/año
- GC = Generación del compresor en pie<sup>3</sup>/min
- HO = horas de operación del compresor por año

Tabla XLI. **Datos de producción de aire comprimido**

Generación compresor ingersoll (L/s)	93,46
Generación Compresor Kaeser (L/s)	113,75
Total entregado por los compresores (L/s)	207,21

Fuente: Látex Centroamericana.

Realizando las conversiones respectivas, se tiene lo siguiente

$$GC = 439 \frac{ft^3}{min} * 60 \frac{min}{h} = 26\,340 \frac{ft^3}{h} * \frac{1\,m^3}{35,3147ft^3} = 745,87 \frac{m^3}{h}$$

Tomando en cuenta que con los dos compresores trabajarían 12 horas diarias se obtendrá:

$$HO = 12 \frac{horas}{día} * 350\,días = 4\,200 \frac{horas}{año\,de\,operación}$$

Ingresando los datos a la formula se tiene:

$$GTA = 745,87 \frac{m^3}{h} * 4\,200 \frac{h}{año} = 3\,132\,633,15 \frac{m^3}{año}$$

*Costo de energía eléctrica con dos compresores*

$$CEEA = GC \cdot EEE \cdot HO * \%UT * CU$$

Donde:

- CEEA = costo de energía eléctrica anual en quetzales
- GC = generación del compresor en pie<sup>3</sup>/min
- EEE = energía eléctrica específica en kW/pie<sup>3</sup>/min
- HO = horas de operación del compresor por año
- %UT = porcentaje de utilización del compresor
- Cu = costo unitario en quetzales de kW/hora

Al sustituir se obtienen los siguientes datos:

$$CEEA = 439 \frac{ft^3}{min} * 0,2037 \frac{kW * ft^3}{min} * 4\ 200 \frac{h}{año} * 100 \% * 1,0 \frac{kW}{hora}$$

$$= Q.375\ 582,02 \text{ por año}$$

*Costo de energía eléctrica de implementación de secador frigorífico*

De los cálculos anteriores se obtiene

Costo EE anual

Q3 668,52

#### **5.2.1.1.2. Estudio económico por la pérdida de aire por fugas**

De acuerdo a lo estimado de consumo de caudal de aire comprimido por área, en cada una de las áreas se estiman las siguientes pérdidas representadas de acuerdo al número de fugas.

Tabla XLII. **Resumen por área**

<b>Área</b>	<b>Fugas</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Pérdida (Q.)</b>
Prensas	19	7,21	9 382,49
Eva	12	4,85	6 233,21
Mezclas	6	1,64	2 124,36
Compresores	1	0,88	1 176,11
Tubería principal	0	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>14,58</b>	<b>18 916,17</b>

Fuente: elaboración propia.

### **5.2.2. Costos variables**

En la ejecución de este proyecto no se tienen contemplados los gastos variables, porque estos se definen como costos en base a la producción de la empresa. El proyecto se estima con una demanda estable, por lo que los costos del proyecto no se ven afectados por la variabilidad de la producción. Este proyecto tiene como objetivo optimizar las líneas de aire comprimido dentro de la empresa, no aumentar o variar su producción.

## CONCLUSIONES

1. Actualmente el sistema de aire comprimido presenta varias deficiencias, siendo la más importante la acumulación de gran cantidad de condensado en sus líneas, generando fuertes daños a los equipos de consumo.
2. Las fugas o pérdidas que se encuentran dentro de la planta son un total de 52 en todas las áreas de la empresa. El área que presenta una mayor cantidad de fugas es la de *foamy/* Eva, le sigue el área de prensas. Debe resaltarse que estas fugas representan una pérdida monetaria de Q. 18 916,09.
3. La información obtenida dentro de la empresa va desde el tipo de mantenimiento que ha recibido cada parte del sistema de aire comprimido, dentro de estos están compresores y tanque acumulador, se cuenta con la información sobre el diagnóstico de fugas, consumo de los equipos y su ubicación.
4. La reubicación de tuberías consiste en eliminar el ramal No. 5, eliminar un tramo considerable del ramal No.1 y realizar dos redes cerradas con sus respectivas pendientes para drenar del sistema. En el caso del cuarto de compresores se le da un espacio mayor y se instalan los compresores al lado del pasillo para una mejor ventilación y toma de aire, se define que el tanque acumulador presenta un desgaste considerable, debido a la nula mantenimiento recibido, se recomienda su cambio. Es necesario instalar un secador frigorífico antes del tanque acumulador para entregar una mejor calidad de aire al sistema.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio en el que se analice los beneficios que se obtienen al realizar un cambio de tuberías del sistema de aire comprimido, porque mediante este proyecto se busca la reubicación de las mismas.
2. Continuar con el proceso en las tuberías de derivaciones hacia los equipos, realizando cada derivación con cuellos de ganso para evitar que la condensación que se pueda generar en las tuberías principales, pueda alcanzar a los equipos generando daños en los mismos.
3. Programar dentro del mantenimiento preventivo de la planta un equipo que dé seguimiento al buen funcionamiento de las tuberías en búsqueda de fugas y de encontrarse, aplicar las acciones correctivas respectivas evitando así el impacto directo a los costos de producción.
4. Al realizar las mediciones de capacidad del compresor puede compararse su capacidad teórica actual, con el fin de conocer el estado del equipo y si debe de ser mejorado.
5. La capacidad del compresor puede establecerse por medio de fundamentos teóricos, contemplando el uso que tiene en cada uno de los anillos, verificar el estudio de este por métodos analíticos como parte de un laboratorio de docencia.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILA, Carlos. *Diseño de un módulo didáctico para prácticas de neumática en el laboratorio de control industrial de la carrera de educación técnica de la facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación de la Universidad Central del Ecuador durante el período febrero - julio 2013*. Quito, Ecuador: 2013. 80 p.
2. ARCHER, Henry. *Problemas más frecuentes en la industria manufacturera guatemalteca como consecuencia del inadecuado mantenimiento en compresores de aire de tornillo y propuesta para la disminución de los mismos*. Guatemala: 2009. 200 p.
3. Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá. *Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural*. Florencia, Colombia: 1998. 90 p.
4. Automatización Industrial. *Distribución de aire comprimido*. [en línea]. <[industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html](http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html)>.
5. BUENACHE, Alejandro. *Teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web*. Madrid, España: 2010. 281 p.
6. CARNICER, Enrique. *Aire comprimido*. Madrid, España: 126 p. ISBN 84-283-19131.

7. ECURED. *Látex*. [en línea]. <<https://www.ecured.cu/L%C3%A1tex>>.
8. INGERSOLL RAND. *Operation and maintenance manual*. [en línea]. <<https://catalog.jamiesonequipment.com>>.
9. KAESER KOMPRESSOREN SE. *Manual de servicio compresor de Tornillo*. [en línea]. <[https://www.academia.edu/37144103/Manual\\_de\\_Servicio\\_Compresor\\_de\\_Tornillo\\_BSD\\_SIGMA\\_CONTROL\\_2?auto=download](https://www.academia.edu/37144103/Manual_de_Servicio_Compresor_de_Tornillo_BSD_SIGMA_CONTROL_2?auto=download)>.
10. QUISHPE, Andrés. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la Industria*. 75 p. Quito, Ecuador: 2018.
11. SAPIENSMAN. *Conceptos básicos de neumática e hidráulica*. [en línea]. <<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4.htm>>.
12. SERRANO, Antonio. *Neumática práctica*. Madrid, España: 456 p. ISBN 978-84-283-3033-6.
13. ZHIMNAYCELA, Carlos., CAMPOSANO, Dario. *Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz*. Guayaquil, Ecuador: 2011. 98 p.

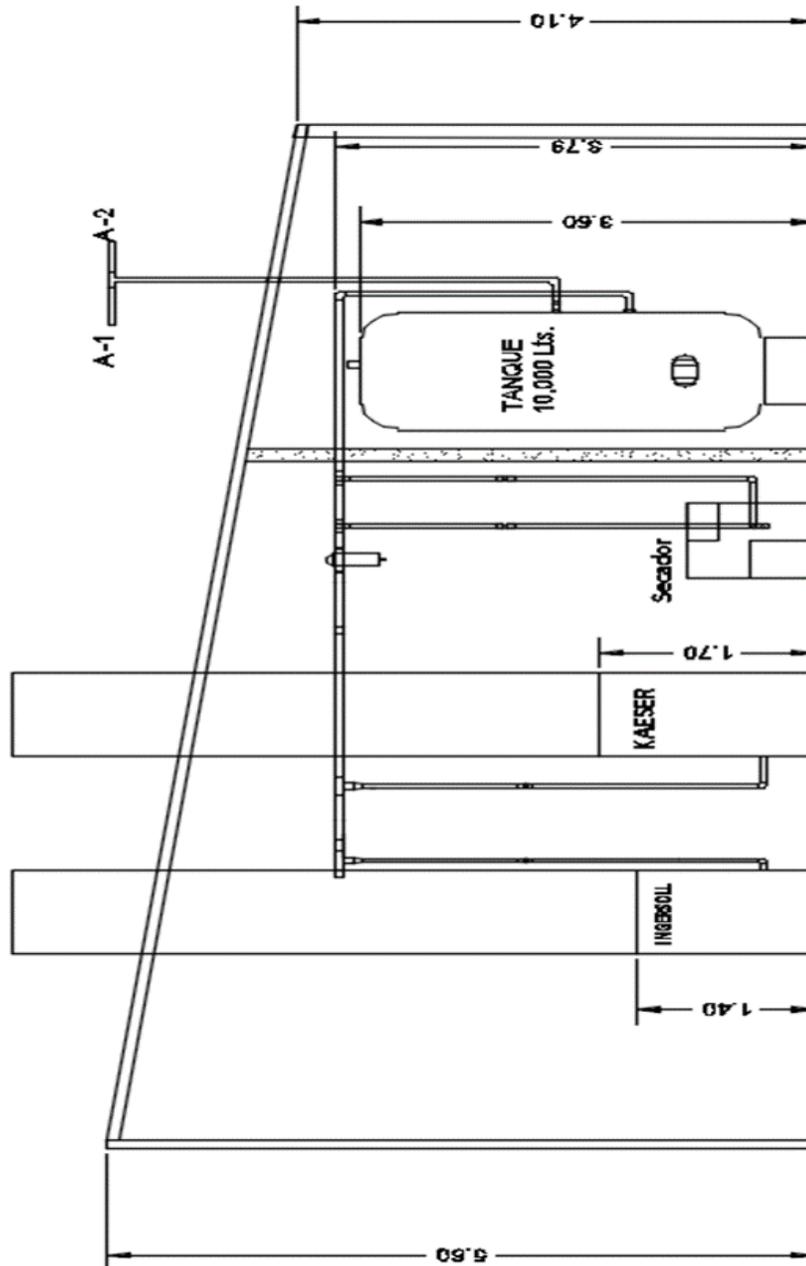
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Planos de la reubicación del cuarto de compresores



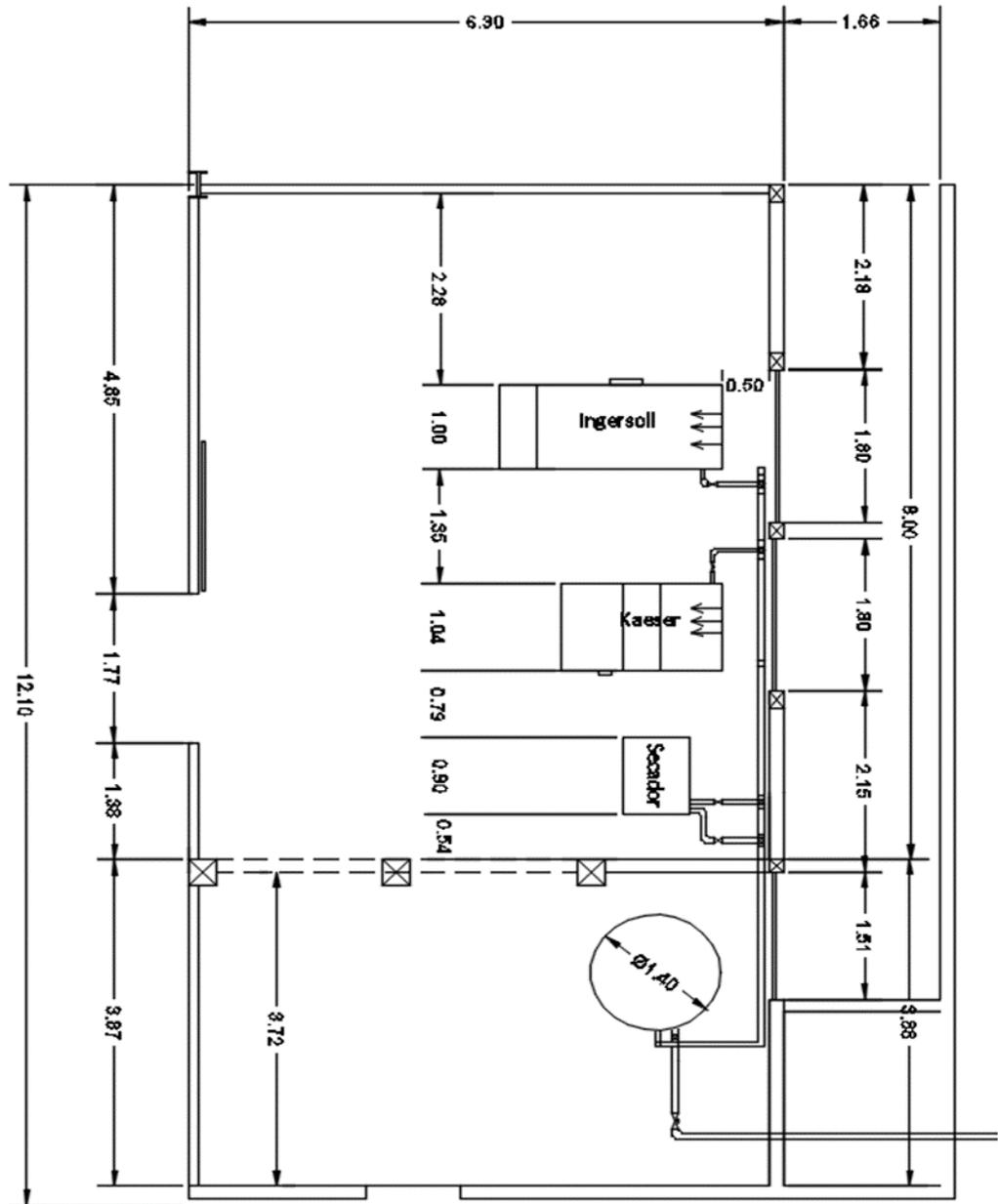
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

Apéndice 2. Vista de corte de cuarto de compresores



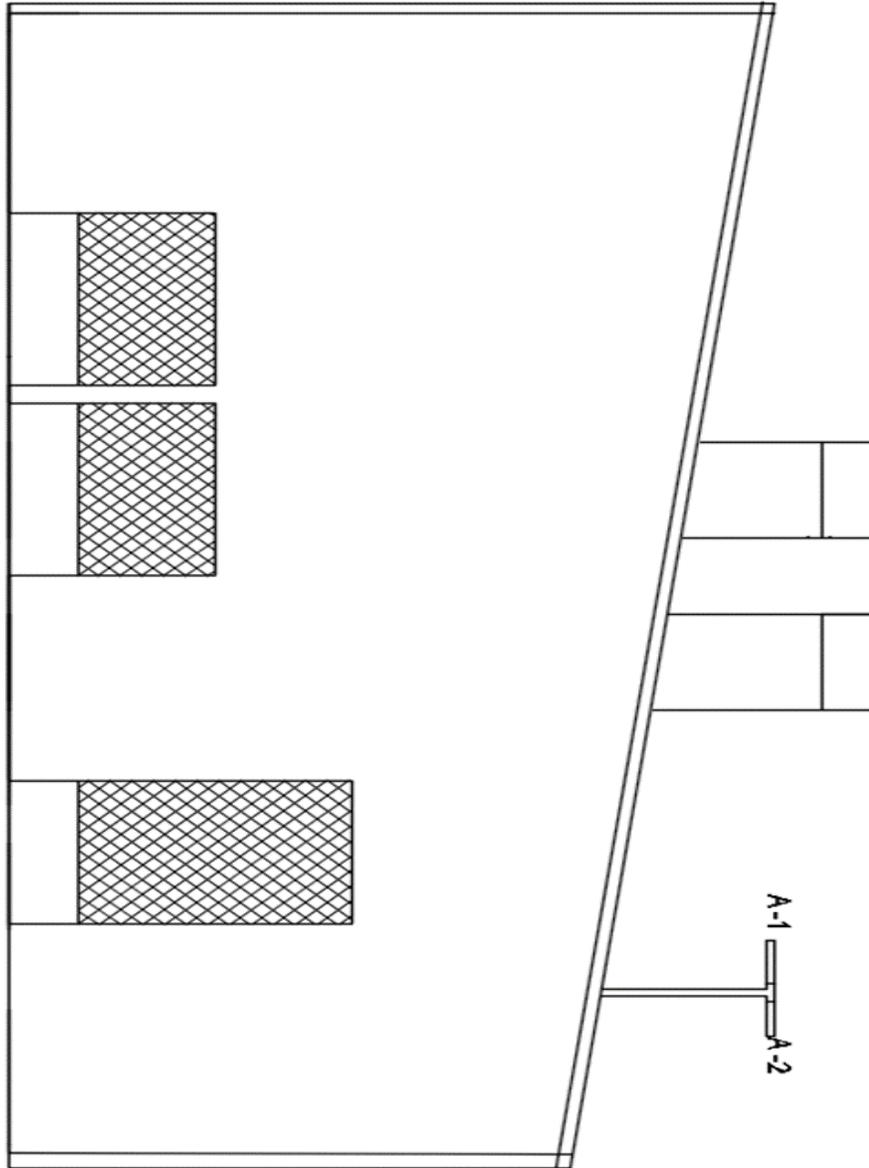
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

### Apéndice 3. Acotado de cuarto de compresores



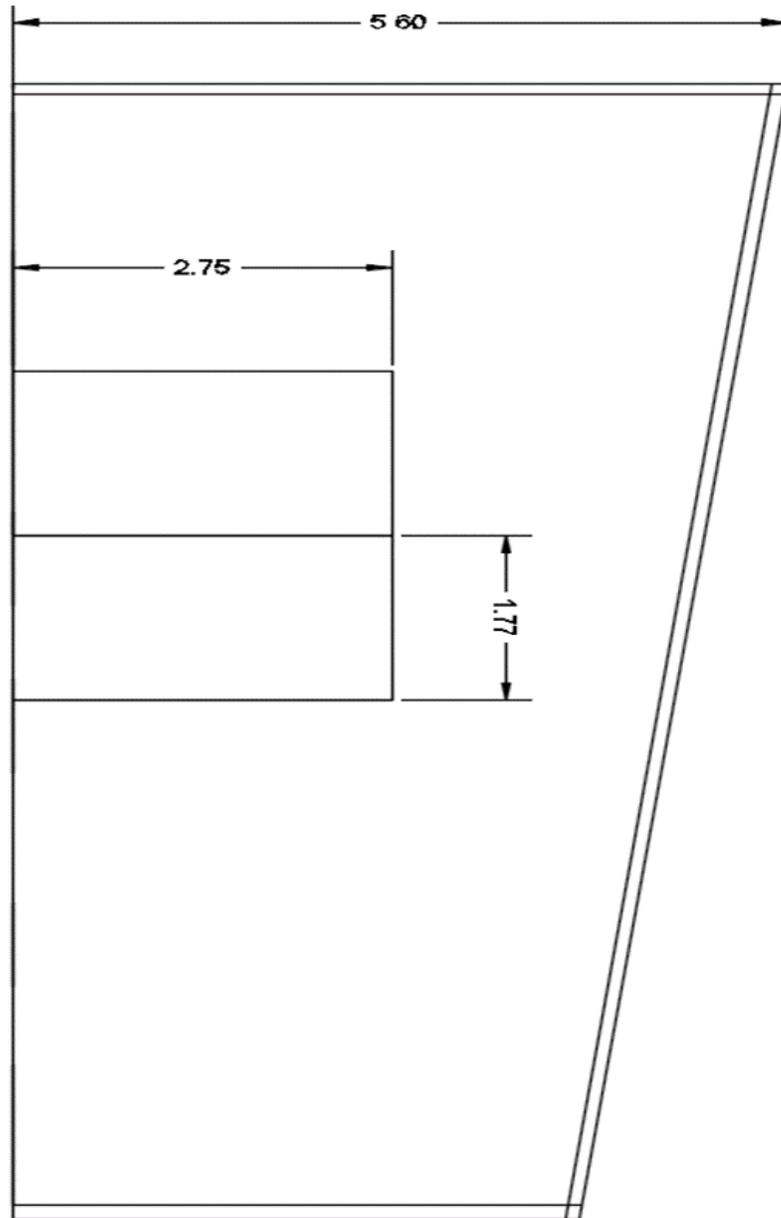
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

Apéndice 4. **Elevación trasera cuarto de compresores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

Apéndice 5. **Elevación frontal cuarto de compresores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

