



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

**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO
EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S. A.**

Sergio Roberto Sánchez Hernández

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, marzo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO
EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO ROBERTO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2021

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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO
EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de mayo de 2019.

Sergio Roberto Sánchez Hernández



UNIDAD DE EPS

Guatemala, 26 de agosto de 2020
REF.EPS.DOC.CM.13.08.2020

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

Estimado Ing. Argueta Hernández:

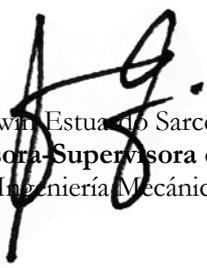
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Sergio Roberto Sánchez Hernández, **Registro Académico No. 201025388 y CUI No. 1931 13406 0114** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUJSTRIA TEXTILERA TENNAT, S.A.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



EESZ/es



Guatemala, 26 de agosto de 2020
REF.EPS.D.123.08.2020

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

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Sergio Roberto Sánchez Hernández** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



UNIDAD DE EPS

Guatemala, 21 octubre 2020
REF

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Morales Baiza:

Por este medio atentamente le informo que procedí a revisar el informe final titulado: **DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RE DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S.A.** del estudiante universitario de la escuela de ingeniería mecánica, Sergio Roberto Sánchez Hernández, Registro Académico 201025388.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Snell Chicol Morales'.

Carlos Snell Chicol Morales
INGENIERO MECÁNICO Col. 14029
Ma. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

Ma. Ing. Carlos Snell Chicol Morales
Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.149.2020

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-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S.A.** del estudiante **Sergio Roberto Sánchez Hernández**, DPI **1931134060114**, Reg. Académico **201025388**, y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre de 2020

/aej

DTG. 095.2021.

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: **DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTILERA TENNAT, S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Roberto Sánchez Hernández**, 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, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Creador supremo, gracias por regalarme la vida, salud y sabiduría para culminar mi carrera. Gracias por iluminar mi vida.
- Mis padres** Sergio Armando Sánchez Solomán y Marlene Hernández de Sánchez, por creer en mí, y por brindarme su amor y apoyo incondicional para lograr este preciado sueño; que este triunfo sea una recompensa por sus enseñanzas y esfuerzos; los amo.
- Mi esposa** Madisson Beatriz Hernández Aguilar, por ser una ayuda idónea; gracias por tu amor incondicional, y por ser pilar fundamental de nuestra familia. Te amo.
- Mi hija** Madisson Giselle Sánchez Hernández, regalo que Dios me envió para hablarme de su amor; te amo hija.
- Mi hermana** Sara Marleny Sánchez Hernández, por su amor, comprensión y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por acogerme en sus aulas y permitir desarrollarme como una persona de bien.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar y darme las armas necesarias para ser un profesional de éxito.
Mis amigos de la Facultad	Jonathan Acevedo, Marvin Orellana, Kevin Gonzales, David Car, Félix Ordóñez, Josué Soto, Carlos Izaguirre, César González, Ricardo Córdova y Elder Girón, gracias por su amistad y ayuda.
Luis Benavente	Por sus consejos, amistad y apoyo para el logro de este triunfo.
Dr. Edgar Vladimir Vásquez	Por su amistad y apoyo para culminar mi carrera.
Ing. Rodrigo Juárez	Por su amistad, y por compartir sus conocimientos y experiencia profesional para culminar este proyecto. Gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores	4
1.1.6. Organigrama.....	4
1.2. Descripción del problema	5
1.3. Unidades físicas	6
1.3.1. Presión	7
1.3.2. Temperatura	7
1.3.3. Trabajo	7
1.3.4. Potencia.....	7
1.3.5. Caudal volumétrico	8
1.4. Aire	8
1.4.1. Aire húmedo	8
1.4.2. Humedad relativa.....	9

1.4.3.	Punto de rocío	9
1.5.	Compresores.....	9
1.5.1.	Desplazamiento positivo.....	10
1.5.1.1.	Compresores de tornillo	11
1.5.2.	Compresores dinámicos.....	12
1.5.2.1.	Compresores radiales	13
1.5.3.	Comparación entre compresores dinámicos y compresores de desplazamiento positivo.....	14
1.6.	Tratamiento del aire	15
1.6.1.	Secadores	16
1.6.1.1.	Secador frigorífico	16
1.6.1.2.	Secador por sobrepresión	17
1.6.1.3.	Secador por absorción	17
1.6.1.4.	Secador por adsorción	17
1.6.2.	Unidad FRL	17
1.6.2.1.	Filtro	18
1.6.2.2.	Regulador de presión	18
1.6.2.3.	Lubricador	18
1.7.	Tubería.....	19
1.7.1.	Clases de tubería	19
1.7.1.1.	Tubería rígida	19
1.7.1.2.	Tubería semirrígida	19
1.7.1.3.	Tubería flexible.....	19
1.7.2.	Accesorios de tubería.....	20
1.7.2.1.	Codo.....	20
1.7.2.2.	Tee	20
1.7.2.3.	Reducciones.....	20
1.7.2.4.	Válvula de compuerta.....	21
1.7.2.5.	Válvula de globo.....	21

	1.7.2.6.	Válvula de bola	21
1.8.		Distribución de aire comprimido	21
	1.8.1.	Clasificación de la tubería en la red de distribución de aire comprimido	22
	1.8.1.1.	Tubería principal	22
	1.8.1.2.	Tubería secundaria.....	22
	1.8.1.3.	Tubería de servicio o consumo.....	22
	1.8.2.	Circuitos utilizados en la red de aire comprimido....	23
	1.8.2.1.	Circuito cerrado	23
	1.8.2.2.	Circuito abierto.....	23
	1.8.2.3.	Circuito mixto	24
1.9.		Instrumentos de medición.....	24
	1.9.1.	Manómetros.....	25
	1.9.2.	Caudalímetro	25
1.10.		Dimensionamiento de una red de aire comprimido.	25
	1.10.1.	Cálculo de la demanda de presión.	25
	1.10.2.	Cálculo del consumo de aire.....	26
	1.10.2.1.	Factor de utilización.....	26
	1.10.2.2.	El factor de simultaneidad	26
	1.10.3.	Dimensionamiento de la tubería.	28
	1.10.4.	Cálculo de la longitud de la tubería.....	29
	1.10.5.	Cálculo de la caída de presión.....	31
2.		FASE DE INVESTIGACIÓN	35
	2.1.	Diagnóstico a la red de aire comprimido.....	35
	2.1.1.	Planos de la red de aire comprimido.	36
	2.1.2.	Identificación de la red de aire comprimido.	39
	2.1.2.1.	Red de generación	39
	2.1.2.2.	Planta de tintorería y acabados	40

2.1.3.	Análisis de los diámetros utilizados en la red.	42
2.1.3.1.	Tubería principal.....	42
2.1.3.2.	Tubería secundaria o distribución.	42
2.1.3.3.	Tubería de servicio.....	43
2.1.4.	Longitud de la tubería.....	44
2.1.4.1.	Tubería recta instalada en tintorería y acabados.....	44
2.1.5.	Análisis de los accesorios utilizados en la tubería...	45
2.2.	Identificar fugas.....	45
2.2.1.	Determinar pérdidas ocasionadas por fugas.	45
2.3.	Consumo de aire comprimido por equipo.....	50
2.4.	Cálculo de caída de presión en la red actual.	54
2.4.1.	Pérdida de presión en la red de generación.....	55
2.4.2.	Caída de presión en red de distribución en planta de tintorería y acabados.	59
2.5.	Capacidad de los compresores que suministran la planta.	71
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL.....	73
3.1.	Planos de la red optimizada.	73
3.1.1.	Red de generación.	73
3.1.2.	Red de tintorería y acabados.	74
3.2.	Cálculo de diámetros para red de aire comprimido.....	75
3.2.1.	Red de generación.	75
3.2.2.	Red de tintorería y acabados.	77
3.2.2.1.	Tubería principal.....	78
3.2.2.2.	Tubería secundaria.	79
3.2.2.3.	Tubería de consumo.	82
3.2.3.	Diámetros de tintorería de hilo.	85
3.2.3.1.	Diámetro de tubería principal	85

	3.2.3.2.	Tubería de red secundaria o distribución en tintorería de hilo.	87
	3.2.3.3.	Diámetros de tubería de servicio en tintorería de hilo.	89
3.3.		Cálculo de presión de trabajo.	90
3.4.		Pérdidas monetarias por fugas.	91
3.5.		Capacidad de los compresores con la red optimizada.	91
3.6.		Ventilación en el cuarto de secadores refrigerativos.	96
3.7.		Plan de mantenimiento preventivo a las unidades compresoras.	97
	3.7.1.	Compresores centrífugos.	98
	3.7.1.1.	Controles diarios y a cada arranque	98
	3.7.1.2.	Controles que hay que efectuar cada 60 días.	99
	3.7.1.3.	Controles que hay que efectuar cada 6 meses.	100
	3.7.1.4.	Controles que hay que efectuar cada 12 meses.	100
3.8.		Plan de mantenimiento preventivo a la red.	101
	3.8.1.	Tuberías y accesorios.	101
	3.8.1.1.	Detección de fugas.	101
	3.8.1.2.	Limpieza.	101
	3.8.1.2.1.	Unidades de mantenimiento.	102
4.		FASE DE DOCENCIA.	103
	4.1.	Planificación.	103
	4.2.	Introducción.	104
	4.3.	Importancia del buen manejo del aire comprimido.	104

4.4.	Diseño y correcta instalación de futuras expansiones.....	105
4.5.	Importancia de eliminar fugas.	106
4.6.	Cuidados del sistema neumático	106
CONCLUSIONES.....		109
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113
ANEXOS.....		115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de Tennat, S. A.....	1
2.	Organigrama Tennat, S. A.	4
3.	Tipo de compresores de acuerdo con su principio de funcionamiento.....	10
4.	Diagrama de operación de compresor de tonillo lubricado.	12
5.	Compresor radial de tres etapas con engrane integral.	14
6.	Curva de carga para compresores centrífugos y de desplazamiento positivo cuando la carga cambia a velocidad constante.....	15
7.	Unidad FRL.....	19
8.	Longitud equivalente en diámetros de accesorios.	31
9.	Red de generación y planta de tintorería y acabados.	317
10.	Red de generación de aire comprimido.....	37
11.	Distribución de red de aire comprimido en tintorería y acabados.....	38
12.	Distribución de aire comprimido en planta de tintorería y acabados. ...	41
13.	Distribución de los compresores de tornillo.....	56
14.	Caída de presión en el manifold de generación.	58
15.	Red de generación de aire comprimido.....	73
16.	Red de tintorería y acabados	74
17.	Ubicación de accesorios y tubería principal	79
18.	Ubicación de accesorios en tubería de secundaria	81
19.	Derivación por cuello de cisne.	82
20.	Accesorios de la tubería principal en teñido y secado de hilo	87

21.	Accesorios en red secundaria en teñido y secado.....	88
22.	Ventilación en el cuarto de los secadores refrigerativos.	96

TABLAS

I.	Ejemplo de cálculo de presión de trabajo.	26
II.	Factor de simultaneidad.....	27
III.	Factores “f” de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.	33
IV.	Procesos y equipos utilizados.....	35
V.	Longitud y diámetros de tubería instalada.	44
VI.	Longitud equivalente de accesorios de 4”, 3”, 2”, 1 ½”.	46
VII.	Longitud equivalente de accesorios de 1”, ¾”, ½”.	46
VIII.	Cálculo de fugas a 6 bares de presión.....	47
IX.	Fugas de aire comprimido en planta tintorería y acabados.	48
X.	Consumo de aire comprimido en tintorería y acabados.....	50
XI.	Consumo nominal de aire comprimido secado y teñido de hilo	53
XII.	Caída de presión en el manifold de generación.....	58
XIII.	Distribución de equipos en la red de distribución de tintorería y acabados.	60
XIV.	Caída de presión en tubería de distribución 1.	63
XV.	Caída de presión en tubería de distribución 2.	65
XVI.	Caída de presión en línea 3.....	66
XVII.	Caída de presión en línea 4.....	68
XVIII.	Presión de trabajo por equipo.....	68
XIX.	Capacidad nominal de los compresores.	71
XX.	Capacidad actual de los compresores.....	72
XXI.	Diámetro de la red de generación.....	76
XXII.	Longitud de tubería principal.....	78

XXIII.	Longitud de tubería secundaria	80
XXIV.	Diámetro de tubería de servicio.	83
XXV.	Accesorios utilizados en red principal en tintorería de hilo.....	86
XXVI.	Accesorios utilizados en la red secundaria en tintorería de hilo.....	87
XXVII.	Diámetro de tubería de servicio en tintorería de hilo.....	89
XXVIII.	Presión de trabajo de los compresores.....	90
XXIX.	Demanda real de aire comprimido en tintorería y acabados.....	92
XXX.	Demanda real de aire comprimido en teñido y secado de hilo.....	95
XXXI.	Capacidad del compresor para teñido y secado de hilo.....	95
XXXII.	Plan de mantenimiento preventivo para compresores de tornillo.....	97
XXXIII.	Cronograma de actividades en la fase de docencia.....	104

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Δ presión	Caída de presión
d	Diámetro
F	Factor de pérdida
°C	Grado Celsius
J	Joule
kg	Kilogramo
KW	Kilowatts
KWh	Kilowatts por hora
PSI	Libras por pulgada cuadrada
L	Longitud
Le	Longitud equivalente
m	Metro
m³/min	Metro cúbico por minuto
min	Minuto
Pa	Pascal
Cfm	Pies cúbicos por minuto
P	Presión
Ps	Presión del sistema
Pulg	Pulgadas
S	Segundo
W	Watts

GLOSARIO

Aire	Es una mezcla homogénea e incolora de gases que constituyen la atmósfera terrestre, que permanecen dentro de ella por la acción de la fuerza de la gravedad.
Caudal	Es una cantidad de volumen de un fluido o sustancia que circula a través de un área por unidad de tiempo.
CFM	Por sus siglas en inglés <i>cubic feet per minute</i> ; pies cúbicos por minuto.
Compresor	Máquina o dispositivo utilizado para aumentar la presión de un fluido compresible, con el fin de transportarlo y producir trabajo.
Condensado	Cambio de estado del vapor de agua contenido en el aire al ser comprimido, pasando a estado líquido.
Red	Conjunto de tuberías y accesorios que se cruzan en diferentes puntos, en los cuales se transporta un fluido con el fin de abastecer o producir un trabajo.
Válvula	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se divide en cuatro capítulos, en cuyo contenido se describen los fundamentos teóricos, diagnósticos y técnicos de la situación actual y las propuestas de mejora con diversos cálculos que se realizaron con base en el proceso técnico, para finalizar la fase de docencia en donde se capacita a los mecánicos y encargados de la red de aire comprimido.

Las generalidades y antecedentes de la empresa Tennat. S. A., utilizada para el estudio de la red de aire comprimido en la planta de producción de tintorería y acabados, se describen en el capítulo 1.

La fase de investigación se describe en el capítulo 2, recabando que, debido a diferentes problemas en la presión de trabajo y distribución en la red de tubería, se realizó una evaluación diagnóstica a la red general; con la finalidad de determinar las causas que ocasionan los problemas relacionados con la presión de trabajo y la demanda del consumo.

En el capítulo 3 se desarrolla la fase técnico profesional que incluye las mejoras de optimización a la red general de aire comprimido, incluyendo planos, diámetros de tubería con la menor caída de presión permisible, propuesta óptima para la presión de trabajo, costo ocasionado por las fugas, capacidad de compresores, ventilación y planes de mantenimiento a los compresores y red de distribución.

La fase de docencia se describe en el capítulo 4, en donde se evalúa y capacita a los mecánicos y encargados de la red de aire comprimido, con

enfoque al buen manejo del recurso, la importancia de eliminar fugas, cuidados de los sistemas neumáticos y correcto diseño e instalación de futuras expansiones.

OBJETIVOS

General:

Elaborar el diagnóstico y propuesta para optimizar la red de aire comprimido en la planta de producción de la industria textilera Tennat, S. A.

Específicos:

1. Realizar el diagnóstico sobre la situación actual a la red de distribución de aire comprimido para determinar las pérdidas de presión y el costo energético que representan para la empresa textilera Tennat, S. A.
2. Rediseñar la red de aire comprimido que abastece la planta de producción en la empresa textilera Tennat, S. A.
3. Brindar a los mecánicos y encargados del sistema de aire comprimido, conceptos fundamentales sobre el manejo y mantenimiento del sistema, enfocados a minimizar la caída de presión en la red de distribución.

INTRODUCCIÓN

La industria textilera Tennat, S. A. cuenta con área de producción textil, para realizar procesos productivos en tela cruda, algodón 100 %, poliéster, mezcla algodón-poliéster y toallas, con la finalidad de obtener beneficios económicos sustanciales en dichos acabados de primera clase, según sea el requerimiento de clientes.

El departamento de producción cuenta con diferentes tipos de maquinaria, acordes al proceso de la actividad textil, con dichas máquinas se realizan todos los procesos automatizados, una de las bases del funcionamiento de automatización son los procesos que se desarrollan con los sistemas neumáticos, conectados y accionados por una red de aire comprimido.

Debido al aumento de la demanda de producción ha aumentado el consumo de aire comprimido, ya que se han instalado equipos adicionales a la infraestructura inicial produciendo pérdida de presión; debido a esto nace la necesidad de un rediseño de red de aire comprimido acorde a las necesidades actuales, con una presión acorde a los límites permisibles de cada equipo.

De esta necesidad de cambio óptimo productivo se efectúa un diagnóstico a la situación actual, buscando los puntos claves de mejora y realizando un rediseño de las redes de aire comprimido, el cual lleva a realizar una selección adecuada de compresores en tamaño, material de tubería y accesorios, con la finalidad de minimizar consumo energético.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

Tennat, S. A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de textiles. Está localizada en Guatemala, el país más productivo y desarrollado en textiles de Centroamérica, el cual también pertenece a la cuenca del Caribe. La fábrica se caracteriza por su versatilidad de producción y flexibilidad para acomodar las necesidades de los clientes locales y del extranjero, además por adaptarse a los cambios de la moda en el mercado, manteniendo el más alto estándar de calidad, cumpliendo con el objetivo de brindar el mejor producto a los clientes.

1.1.1. Ubicación

La industria Tennat, S. A. está ubicada en el Km. 30,5 Carretera al Pacífico, Amatitlán, con una extensión territorial de 4 hectáreas.

Figura 1. **Ubicación de Tennat, S. A.**



Fuente: Google Maps. *Ubicación.*

1.1.2. Historia

La industria textil se dedica a la elaboración de telas, hilos, fibras y otro tipo de productos relacionados, los cuales son comercializados de manera masiva. Esta actividad se ha convertido en un generador de ganancias masivas para varios países beneficiados de manera económica, además de ser uno de los sectores que genera mayor cantidad de empleos directos o indirectos. Es importante aclarar que en el pasado el término de textil se utilizaba excluyentemente para denominar a las telas que se encontraban tejidas, aunque, con el desarrollo de la industria la palabra se usa también para designar a las telas que se obtienen a partir de otros procesos.

La industria textil de Guatemala fue el mayor generador de divisas para el país en 2011 con más de 1 500 millones de quetzales. Por otro lado, es una fuente de empleo con cerca de 100 000 plazas que ofrece un ingreso estable a sus empleados, representando así, uno de los productos que Guatemala exporta más productivos para el país.

La industria ubicada en el Km. 30,5 Carretera al Pacífico, Amatitlán, se dedica a la producción y comercialización de textiles desde hace 60 años; dispone de una extensión territorial de 4 hectáreas, dentro de las cuales destaca que cuentan con su propio abastecimiento de energía eléctrica y agua, posicionándose como una de las mayores industrias exportadoras a nivel centroamericano. La industria se caracteriza por su versatilidad de producción y flexibilidad para acomodar las necesidades de los clientes locales y del extranjero, además por adaptarse a los cambios de la moda en el mercado, manteniendo el más alto estándar de calidad, cumpliendo con el objetivo de brindar el mejor producto a sus clientes.

La empresa está verticalmente integrada, dividida en cuatro áreas principales: hilatura, tejeduría, teñidos y acabados.

Dentro de una de las ventajas con que cuenta la fábrica, es que ha estado presente en el mercado de Estados Unidos desde 1974, lo que le permite que sus productos lleguen por mar en solamente 2 días a los puertos de Miami o Nueva Orleans.

Entre otros países a los cuales se exportan sus productos se encuentran México, Canadá, Perú, Alemania y a los países de Centroamérica. Con base en dicho alcance de diferentes mercados que esta abarca, es necesario que la fábrica cuente con un sistema de producción al nivel de exigencias de venta; principalmente debe enfocarse en la optimización de tiempo que conlleva a gestionar, lo cual tiene por objetivo el análisis periódico de la forma en que se realizan las actividades y procesos en una organización; con ella se busca un mejoramiento continuo de los resultados, todo esto sin perder de vista que el producto tiene como principal objetivo satisfacer las expectativas y necesidades del consumidor.

1.1.3. Misión

Ofrecer una amplia cartera de productos y servicios textiles que satisfagan las necesidades de sus clientes.

1.1.4. Visión

Ser una empresa textil consolidada y reconocida, cuyo desempeño sea apreciado por el personal que la conforma, sus clientes y proveedores.

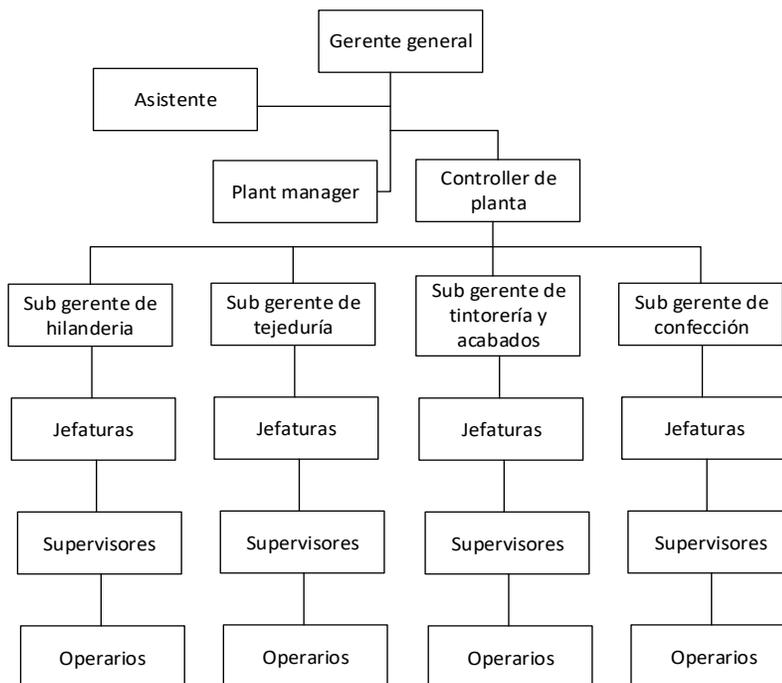
1.1.5. Valores

- Vocación de servicio
- Creatividad
- Excelencia
- Responsabilidad
- Transparencia e integridad

1.1.6. Organigrama

En el organigrama de la empresa se incluyen jerárquicamente todos aquellos puestos que permiten su óptima organización.

Figura 2. Organigrama Tennat, S. A.



Fuente: Tennat, S. A.

1.2. Descripción del problema

La red de aire comprimido de Tennat, S. A. es una red centralizada en donde se le da tratamiento de secado al aire comprimido y se distribuye a las cuatro plantas de producción: planta 1, hilatura; planta 2, tintorería y acabados; planta 3, tejeduría; planta 4, confección. Este trabajo de graduación solamente se limita a la red de generación y planta 2, tintorería y acabados.

En la red de generación se encuentran compresores que trabajan a diferentes presiones y no se tienen en rango de presión mínima y máxima; los compresores de mayor presión dificultan que los que trabajan a presiones más bajas entreguen su caudal de manera óptima y fuercen su trabajo, aumentando su consumo energético.

Los compresores carecen de planes de mantenimiento preventivo de cada una de las unidades compresoras; derivado de esto, el aire comprimido que generan, como el mismo compresor, tiende a tener alta temperatura, lo que provoca de igual manera un aumento de temperatura en la sala de compresores y secadores, además de un trabajo ineficiente de los secadores; repercutiendo en sobrecalentamiento de su sistema.

La sala de compresores, tornillos y secadores cuenta con un diseño que permite a estos equipos aspirar aire de manera correcta y sin limitaciones; pero dicha sala no permite eliminar el calor causado por la ventilación de los motores de cada compresor y el calor desechado de los condensadores en los secadores con aire, lo que provoca temperaturas arriba de los 40 °C. Este calor no es eliminado al ambiente, ni recuperado; lo que provoca que el mismo recircule dentro de dicha área, tanto para los secadores como para la

ventilación de motores de los compresores, sin que disminuya la temperatura de sus sistemas.

Los compresores rotativos Centac son afectados por la mala calidad del agua de refrigeración y la falta de mantenimiento a los mismos, con resultados de deterioro de la torre de enfriamiento de agua, generación de aire comprimido a temperaturas altas, y resultados perjudiciales para la función óptima de los secadores.

En cuanto a la red de tintorería y acabados y redes de distribución actuales se ha tenido un crecimiento desordenado; debido a esto se abastece con siete diferentes diámetros desde el manifold principal de generación de aire comprimido; estas tuberías forman la red de distribución de aire comprimido, siendo insuficientes en cuanto a su capacidad de mantener la presión cuando aumenta el consumo, a consecuencia de la demanda de producción y la adhesión e instalación de equipos nuevos.

Se desconoce el consumo nominal y real de los equipos conectados a la red de distribución; debido a esto las tuberías instaladas tienen caída de presión, la cual aumenta hasta valores fuera de lo permisible para el óptimo funcionamiento de cada equipo y por ende provoca retraso en la producción; dado que dicha maquinaria textil basa su automatización en los diferentes procesos con el uso de válvulas electroneumáticas y pistones neumáticos, estos se ven afectados a disminuir la presión de trabajo.

1.3. Unidades físicas

A continuación, se describen todos los aspectos que deben tomarse en cuenta y sus respectivas dimensionales.

1.3.1. Presión

El trabajo mecánico se puede definir como el producto de la fuerza por la distancia en la que actúa sobre el cuerpo; el trabajo es energía que se transfiere de un cuerpo a otro. Este trabajo se asocia con los cambios de volumen de una mezcla de gases en los procesos más importantes de la termodinámica.

1.3.2. Temperatura

La temperatura de un gas resulta más difícil de definir con claridad. La temperatura es una medida de la energía cinética en las moléculas. A mayor movimiento de las moléculas mayor temperatura, y el movimiento cesa por completo a una temperatura de cero (0) absoluto. La escala Kelvin (K) se basa en este fenómeno; por lo demás esta graduada de la misma forma que la escala Celsius (C): $T = t + 273,2$.

1.3.3. Trabajo

El trabajo mecánico se puede definir como el producto de la fuerza por la distancia en la que actúa sobre el cuerpo; el trabajo es energía que se transfiere de un cuerpo a otro. Este trabajo se asocia con los cambios de volumen de una mezcla de gases; es uno de los procesos más importantes de la termodinámica. La unidad SI del trabajo es el Julio: $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$.

1.3.4. Potencia

Es el trabajo realizado por unidad de tiempo; esta es una medida de la rapidez con la que se realiza un trabajo. La unidad SI de la potencia es el vatio: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

1.3.5. Caudal volumétrico

El caudal volumétrico de un sistema es una medida del volumen que circula por unidad de tiempo; puede calcularse como el producto del área de la sección transversal del caudal y la velocidad media del mismo. La unidad en el Sistema Internacional del caudal volumétrico es el metro cúbico sobre segundo: m^3/s ; sin embargo, también se emplea con frecuencia la unidad litros sobre segundo: l/s , para hacer referencia al caudal volumétrico del compresor.

1.4. Aire

El aire es una mezcla incolora, inodora e insípida de gases, principalmente oxígeno (21 %), nitrógeno (78 %) y vapor de agua. Esta composición es relativamente constante desde el nivel del mar hasta una altitud de 25 km. El aire no es una sustancia química pura, sino una mezcla de gases. Por este motivo se puede separar en sus elementos constituyentes, por ejemplo, mediante enfriamiento.

1.4.1. Aire húmedo

Se puede considerar una mezcla de aire seco y vapor de agua. Cuando contiene vapor de agua se denomina húmedo. El aire que nos rodea siempre es una mezcla de aire seco y vapor de agua que se conoce como aire húmedo; solamente a altitudes superiores a los 10,000 m el contenido de vapor de agua del aire es nulo. La cantidad de vapor de agua máxima que el aire puede contener aumenta con la temperatura; a cada temperatura corresponde una cantidad de vapor de agua máxima. El aire caliente admite más vapor de agua que el frío.

1.4.2. Humedad relativa

Es la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada. La humedad relativa depende de la temperatura y la presión del sistema analizado. La misma cantidad de vapor de agua produce una humedad relativa mayor en el frío que el aire caliente. La humedad relativa normalmente se expresa como un porcentaje; un mayor porcentaje significa que la mezcla de aire y agua es más húmeda. A 100 % de humedad relativa el aire está saturado y se encuentra en su punto de rocío.

1.4.3. Punto de rocío

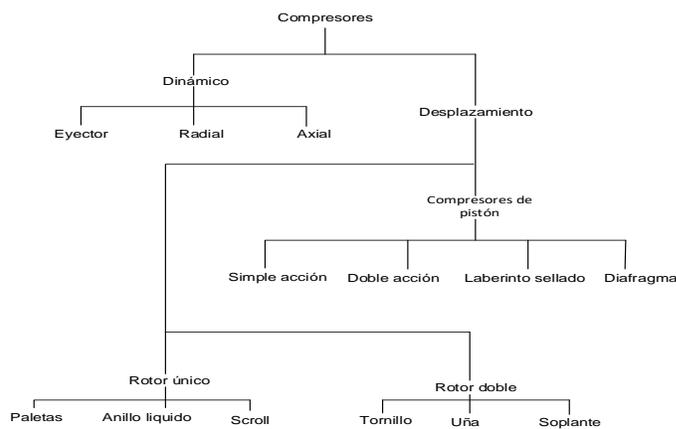
Es la más alta temperatura a la que empieza condensarse el vapor de agua contenido en el aire produciendo neblina, rocío, cualquier tipo de nube, o en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha. Para una masa dada de aire que contiene una cantidad de vapor de agua, se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en la relación necesaria para llegar al punto de saturación, es decir, al punto de rocío, y se expresa en porcentaje. Así cuando el aire se satura, o sea cuando se tiene una humedad relativa igual al 100 %, se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de la temperatura con la misma humedad relativa.

1.5. Compresores

Es una máquina construida con el fin de aumentar la presión y desplazar ciertos tipos de fluidos llamados compresibles, tal es el caso de los gases; para el presente caso, aire. Esto se realiza mediante un intercambio de energía entre

el compresor y el fluido, en el cual el trabajo ejercido por la energía mecánica del compresor es transferido al fluido que pasa por él, convirtiéndolo en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética, e impulsándola a fluir. Existen dos principios genéricos de compresión de aire: la compresión de desplazamiento positivo y la dinámica.

Figura 3. **Tipo de compresores de acuerdo con su principio de funcionamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.5.1. Desplazamiento positivo

En la compresión de desplazamiento positivo, el aire se aspira en una o varias cámaras, donde queda confinado. El volumen de cada cámara disminuye gradualmente y el aire se comprime internamente. Cuando la presión alcanza la relación de presión establecida, se produce la apertura de una válvula y el aire se descarga al sistema de salida debido a la reducción continua del volumen en la cámara de compresión.

La relación de presiones es el coeficiente de la presión absoluta en los lados de entrada y salida. De acuerdo con esto, una máquina que aspira aire a presión atmosférica de 1 bar y lo comprime a 7 bares funciona a una relación de compresión de $(7+1) / 1=8$

1.5.1.1. Compresores de tornillo

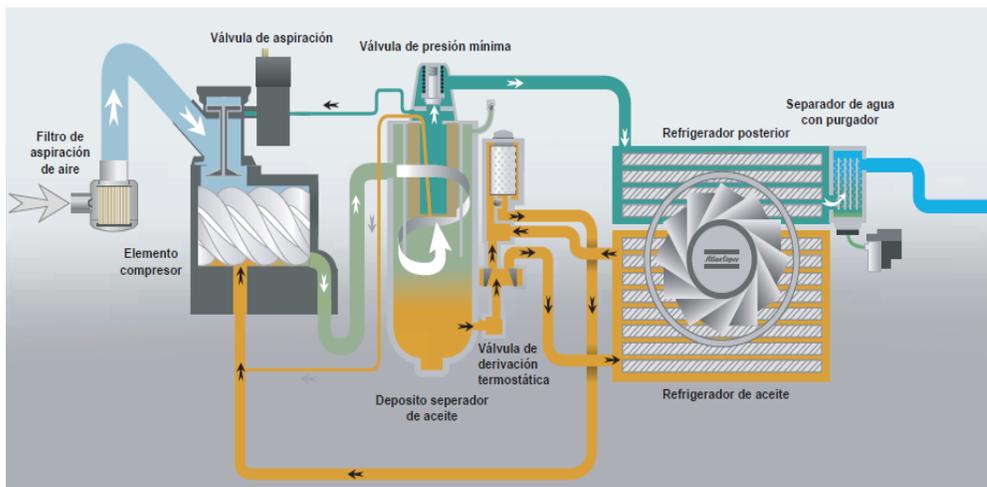
Unidad rotativa de desplazamiento positivo con dos rotores helicoidales comúnmente llamados tornillos rotativos que comprimen el aire en las 2 cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos helicoidales encajados y en la carcasa. Sus elementos básicos de funcionamiento son la carcasa con su ensamble de rotores, uno cóncavo y el otro convexo, los cuales entre sus caras comprimen el aire. El rotor principal tiene una forma que coincide en la concavidad del rotor guiado. Alrededor de 85 a 90 % de la potencia es utilizada por el rotor principal; el guiado requiere entre 10 y 15 %.

Existen compresores de tonillo lubricados y no lubricados; estos últimos se utilizan tanto en procesos libres de aceite como en la industria alimenticia y farmacéutica y tienen el mismo principio de funcionamiento que los compresores lubricados; estos utilizan un revestimiento de teflón entre los tonillos como método de lubricación y sello. Estos compresores surgen con la necesidad de mantener un caudal elevado y estable en condiciones de presión variable; las piezas principales del elemento de tornillo son los rotores macho y hembra, que giran en direcciones opuestas mientras disminuyen el volumen del aire entre ellos y la carcasa.

Cada elemento de tornillo tiene una relación de presión integrada fija que depende de su longitud, del paso y de la forma de lumbrera de descarga, para lograr la máxima eficiencia, la relación de presión integrada se debe adaptar a

la presión de trabajo requerida. Este compresor no está equipado con válvulas y no tiene fuerzas mecánicas que ocasionen desequilibrio, esto significa que puede funcionar con una alta velocidad del eje y combinar un gran caudal con unas pequeñas dimensiones exteriores. La fuerza axial que depende de la diferencia de presión entre la entrada y salida debe ser absorbida por los rodamientos.

Figura 4. **Diagrama de operación de compresor de tonillo lubricado**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de aire comprimido del 2011*. p. 37.

1.5.2. **Compresores dinámicos**

En un compresor dinámico el fluido recibe una aceleración mediante los rotores, imprimiéndole una gran velocidad; siendo esta última convertida en presión en los difusores. Es decir, se fundamentan en la transformación de la velocidad en presión. Dependiendo de la dirección general del flujo utilizado, se denominan compresores radiales y axiales.

En comparación con los compresores de desplazamiento, los compresores dinámicos se caracterizan porque un cambio pequeño en la presión de trabajo produce un gran efecto en el caudal.

1.5.2.1. Compresores radiales

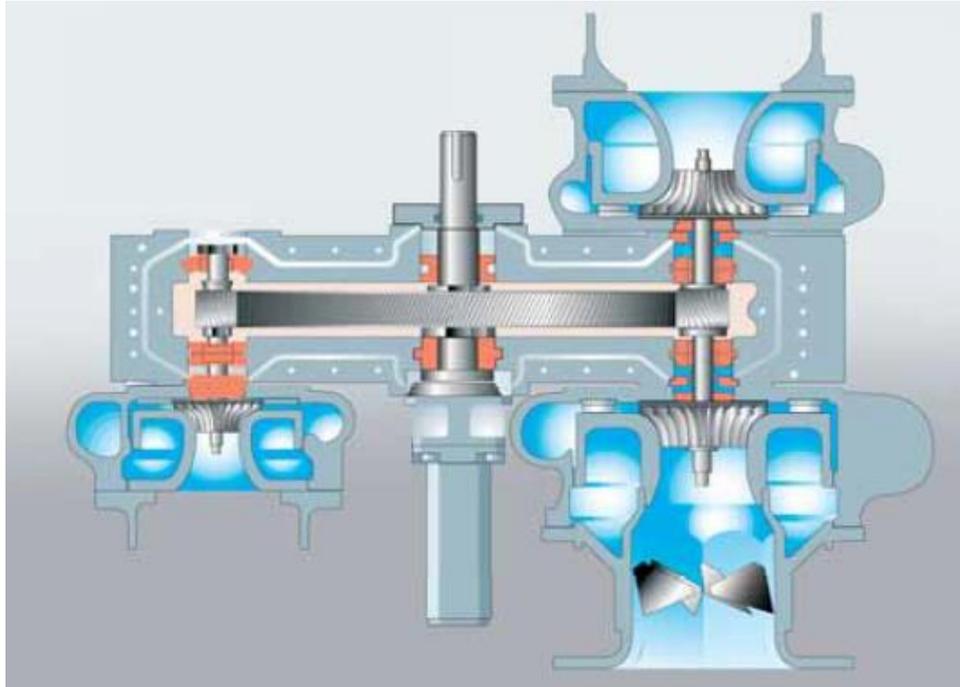
Un compresor radial o comúnmente llamado centrífugo se caracteriza por su descarga radial. El aire entra por el centro de un rodete dotado de álabes y es impulsado hacia su perímetro por las fuerzas centrífugas; el movimiento radial de aire genera, simultáneamente, un aumento de la presión y energía cinética.

Estos compresores se encuentran con etapas simples o multietapas; siguiendo el mismo principio de funcionamiento, cada etapa asume una parte del aumento global de la presión del compresor. En la maquinaria industrial, la relación de presiones máxima de una etapa del compresor centrífugo no suele ser mayor de 3. Una relación de presión más elevada reduce la eficiencia de la etapa; las etapas se pueden disponer, en serie, en un mismo eje de baja velocidad.

La relación de presiones por etapa es baja, pero se emplea un gran número de etapas o varios compresores en serie para obtener la presión de salida deseada.

Para aplicaciones de compresión de aire, se integra una caja de engranes de alta velocidad en las etapas del compresor, para hacer girar los rodetes en piñones de alta velocidad. El rodete puede tener un diseño abierto o cerrado; el abierto es más utilizado para aplicaciones de aire de alta velocidad.

Figura 5. **Compresor radial de tres etapas con engrane integral**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de aire comprimido del 2011*. p. 41.

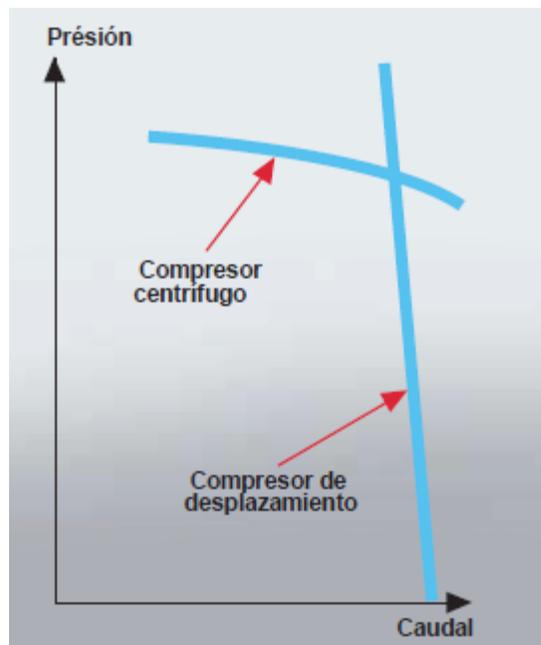
1.5.3. Comparación entre compresores dinámicos y compresores de desplazamiento positivo

A velocidad de rotación constante, la curva de presión versus caudal en un compresor dinámico difiere significativamente de la curva equivalente de un compresor de desplazamiento positivo.

El compresor dinámico es una máquina de caudal y presión variables. Por el contrario, un compresor de desplazamiento positivo es una máquina de caudal constante y presión variable.

Un compresor de desplazamiento proporciona una relación de presión más alta incluso a baja velocidad. Los compresores dinámicos están diseñados para grandes caudales de aire.

Figura 6. **Curva de carga para compresores centrífugos y de desplazamiento positivo cuando la carga cambia a velocidad constante**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de aire comprimido del 2011*. p. 23.

1.6. Tratamiento del aire

El aire atmosférico contiene vapor de agua, en mayor cantidad a altas temperaturas. Cuando el aire se comprime, aumenta la concentración de agua. Para evitar problemas y perturbaciones debido a la precipitación de agua en la

tubería y equipos conectados, el aire se debe secar utilizando un refrigerador posterior y un secador.

Para describir el contenido de agua en el volumen de aire comprimido se emplea el término denominado punto de rocío a presión; esta trata de la temperatura a la que el vapor de agua comienza a condensarse; un punto de rocío bajo indica un contenido pequeño de vapor de agua en el aire comprimido.

Es importante recordar que el punto de rocío atmosférico no se puede comparar con el punto de rocío a presión.

1.6.1. Secadores

Son los encargados de eliminar el condensado del aire al salir de los compresores, debido a que el aire contiene una gran cantidad de humedad que depende de varios factores; su eliminación total o parcial es necesaria para evitar deficiencias tanto en la red como en los procesos en el que sea utilizado.

La humedad del aire se encuentra presente en el ambiente, aunque a veces no es perceptible; al ser comprimida y llevarla al punto de rocío esta se condensa y debe ser eliminada del sistema, ya que puede dañar los equipos y herramientas. La selección del equipo de secado depende del punto de rocío a presión.

1.6.1.1. Secador frigorífico

Es un método en el cual el aire comprimido se enfría a través de un sistema cerrado de refrigerante, provocando que se condense una gran cantidad de agua que se puede separar; luego el aire comprimido vuelve a

calentar hasta aproximadamente la temperatura ambiente, para que no se forme condensación en el exterior de las tuberías.

1.6.1.2. Secador por sobrepresión

Es uno de los métodos más sencillos para secar aire comprimido, el cual consta en comprimir a una presión mayor que la prevista, lo cual hace que aumente la concentración de vapor de agua; luego el aire se enfría y como resultado se separa el agua. Finalmente, se permite que el aire se expanda a la presión de trabajo y se obtiene un punto de rocío a presión más bajo.

1.6.1.3. Secador por absorción

El secado por absorción es un proceso químico que permite que el vapor de agua se fije al material absorbente. Este material químico puede ser sólido o líquido.

1.6.1.4. Secador por adsorción

El principio de funcionamiento de los secadores por adsorción es el siguiente: el aire húmedo fluye por un material higroscópico (silicagel, tamices moleculares y alúmina activa) y se seca.

1.6.2. Unidad FRL

Denominada unidad de mantenimiento. En las plantas industriales es común que el tratamiento del aire reciba atención especial. Por eso, se ubica una unidad de mantenimiento neumático o FRL en la entrada de aire de la

planta, que se ocupa de purificar el aire comprimido. Sus componentes como el filtro, regulador de presión y lubricador, se describen a continuación.

1.6.2.1. Filtro

Es necesario para eliminar partículas e impurezas presentes en el ambiente; este también sirve como un secador atrapando el condensado, el cual es eliminado por la válvula de drenaje.

1.6.2.2. Regulador de presión

Dispositivo que tiene como misión principal mantener estables las condiciones de funcionamiento requeridas, a pesar de las fluctuaciones en la presión primaria y el caudal.

1.6.2.3. Lubricador

Son dispositivos que se colocan después del regulador o filtro regulador; su función es crear una niebla de lubricante con el propósito de mantener una película en los mecanismos de las herramientas, entre ellas válvulas y cilindros.

Figura 7. **Unidad FRL**



Fuente: Unidad FRL. *Airtec, suministros industriales*. <https://airtecvzla.com/proon.php?pro=138>.

1.7. **Tubería**

La tubería son conductos formados por tubos; se utiliza para distribuir líquido o gas. En general el término tubería se refiere de manera amplia al tubo, accesorios de tubería, válvulas y demás componentes que conducen un fluido.

1.7.1. **Clases de tubería**

Las tuberías se clasifican en tres grupos: tubería rígida, semirrígida y flexible.

1.7.1.1. **Tubería rígida**

Es aquella que no poseen movimientos relativos: se utiliza para instalaciones permanentes a altas presiones; comúnmente está conformada por tubos metálicos.

1.7.1.2. Tubería semirrígida

Esta tubería posee cierta capacidad de deformarse, la cual es útil en su instalación y mantenimiento: está fabricada de material termoplástico como el polietileno y el PVC. Esta tubería puede conducir aire a presiones moderadas; es liviana y de un costo relativamente bajo; puede soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daño.

1.7.1.3. Tubería flexible

Comúnmente conocida como manguera; permite un gran campo de aplicación, ya que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones de trabajo, según sea el material empleado en su fabricación. Las mangueras más utilizadas están fabricadas de: nylon, PVC flexible, caucho y lona. La resistencia de las mangueras está relacionada con el espesor de pared y la clase de material utilizado para su fabricación.

1.7.2. Accesorios de tubería

Es el conjunto de piezas moldeadas que unidas a los tubos mediante algún proceso determinado forman las líneas estructurales de la tubería de distribución.

1.7.2.1. Codo

Accesorio de tubería utilizado para cambiar su dirección en un ángulo dado. Por ejemplo 90° o 45°; siendo estos los más comunes.

1.7.2.2. Tee

Accesorio que permite conectar tubería a través del cuerpo de esta, para unir tres tuberías que se proyectan en direcciones perpendiculares.

1.7.2.3. Reducciones

Elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros; estos sirven para aumentar o disminuir dicho diámetro según sea la dirección del flujo.

1.7.2.4. Válvula de compuerta

Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla para permitir el paso del fluido; puede ser redonda o rectangular.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Esta válvula no es empleada para regulación.

1.7.2.5. Válvula de globo

Es utilizada para regular el flujo que pasa dentro de una tubería; consiste en un elemento de tipo de disco móvil y un asiento de anillo estacionario en un cuerpo generalmente esférico.

1.7.2.6. Válvula de bola

Es una válvula que funciona como regulador de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

1.8. Distribución de aire comprimido

La finalidad de un sistema de distribución de aire comprimido es hacerlo llegar a los puntos en los que se necesita utilizar con la menor caída de presión.

1.8.1. Clasificación de la tubería en la red de distribución de aire comprimido

La distribución de aire comprimido cuenta con tres tipos de tubería: principal, secundaria y de servicio. Las mismas se detallan a continuación:

1.8.1.1. Tubería principal

Se le denomina tubería principal a la línea de la red de la cual sale el aire del compresor al depósito, donde se canaliza la totalidad de su caudal para suministro en la red de distribución. Esta debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad en cuanto a posteriores crecimientos.

1.8.1.2. Tubería secundaria

Esta se conecta a la tubería principal y se forman líneas estructurales de tubería con el fin de llevar el suministro de aire comprimido a todos los puntos de consumo.

El caudal de aire que transportan será el correspondiente a la sumatoria de los consumos que de ella se deriven. La máxima velocidad del aire es de 8 m/s.

1.8.1.3. Tubería de servicio o consumo

También llamada bajante; es la que alienta a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación. Incluye accesorios de cierre rápido y mangueras de aire, así como la unidad FRL.

Se debe evitar colocar tubería inferior a ½" ø, debido a la posible suciedad en el sistema que pueda tapanlos. La velocidad máxima del aire es de 15 m/s.

1.8.2. Circuitos utilizados en la red de aire comprimido

A continuación, se describen los circuitos o distribuciones más utilizadas en las redes de aire comprimido:

1.8.2.1. Circuito cerrado

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

Además, tiene la ventaja de tener flujo en ambos sentidos de la línea de aire; aunque eso también conlleva a cierta desventaja, ya que los equipos de mantenimiento y algunas válvulas traen predefinida la dirección del flujo; por lo

que no se puede instalar en la línea principal de aire, solamente al final de cada ramal, debido a que ahí siempre se garantiza el flujo en una dirección.

1.8.2.2. Circuito abierto

Tiene la ventaja de ser más económico en su inversión inicial debido a que conlleva menos material. Este tipo de circuito se debe utilizar únicamente en sistemas en las que los puntos de consumo están cercanos a la unidad compresora, ya que al finalizar la línea de distribución se presentan muchas pérdidas de presión y caudal.

¿Cómo se diferencia un circuito cerrado con uno abierto? En este último, el flujo del aire va en una sola dirección a lo largo de toda la línea de distribución, por lo que se pueden utilizar unidades de mantenimiento, garantizando una mejor calidad del aire.

1.8.2.3. Circuito mixto

En este tipo de circuito se aprovechan las ventajas de los anteriormente mencionados. Es de uso muy frecuente en la industria. Para la instalación se debe tener cuidado con la medición de diámetros y materiales que se van a utilizar, ya que puede resultar costosa.

1.9. Instrumentos de medición

Los instrumentos importantes que se deben tomar en cuenta en las instalaciones de una red de distribución de aire comprimido son los siguientes:

1.9.1. Manómetros

Instrumento de medición que provee una medida visual para conocer la presión que se encuentra dentro de una tubería o recipiente de distribución. Un manómetro consta de los siguientes componentes: cuerpo, muelle tubular o tubo de Bourdon, palanca, aguja, y escala. Su funcionamiento se basa en el esfuerzo a que es sometido el muelle tubular por efecto de la presión, que tiende a enderezarlo; esta deformación, que varía en función de la presión, abre ligeramente el muelle tubular, el recorrido producido por la deformación elástica del muelle es transmitido a través de una palanca en un segmento de cremallera y piñón; dado que el piñón y la aguja están unidos rígidamente, esta se desvía, pudiendo leerse así la presión en la escala.

1.9.2. Caudalímetro

Instrumento de medición que se utiliza para realizar mediciones de caudal o gasto volumétrico de un fluido. Estos aparatos suelen colocarse en la línea con la tubería que transporta el fluido; comúnmente suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

1.10. Dimensionamiento de una red de aire comprimido

Al dimensionar una red de aire comprimido hay que tomar ciertas decisiones, de modo que se adapte a las necesidades del usuario, ofrezca la máxima economía de funcionamiento y esté preparada para una posible expansión.

1.10.1. Cálculo de la demanda de presión

Para calcular la demanda en la presión se debe hacer un listado de todos los equipos con su respectiva presión de trabajo proporcionada por el fabricante; luego se determina cuáles tienen el valor de presión de trabajo más alto y son estos equipos los que determinan la presión de la instalación en el punto de consumo.

Para los equipos que trabajan a presiones bajas se les instalará válvulas reductoras de presión en el punto de consumo. Para casos especiales donde se tienen equipos que trabajan a presiones muy bajas y existe una diferencia de presión muy grande con los que determinaron la presión de trabajo, este método resulta antieconómico y la solución podría ser un compresor independiente para atender las necesidades especiales, ya sea para equipos de baja o alta presión.

Todas las pérdidas de presión dentro de la estación de compresores deben ser tomadas en cuenta. Podría ser conveniente realizar los cálculos usando el ejemplo siguiente:

Tabla I. **Ejemplo de cálculo de presión de trabajo**

Descripción	Caída de presión (PSI)
Punto de consumo	90
Filtro aceite	1,45 - 7,25
Sistema de tuberías	1,45
Filtro polvo	1,45 - 7,25
Secador	2,9
Presión de trabajo del compresor	97,25 – 109,0

Fuente: elaboración propia.

1.10.2. Cálculo del consumo de aire

El consumo nominal de los equipos conectados se obtiene de los manuales del fabricante, se calcula haciendo un listado de todos los equipos conectados a la red de distribución con su respectivo consumo de aire.

1.10.2.1. Factor de utilización

Es el tiempo que se utiliza cada equipo entre un periodo referencial; este valor adimensional oscila un mínimo de 0 y un máximo de 1.

1.10.2.2. El factor de simultaneidad

Se refiere al valor empírico que surge del uso de idénticos consumidores en una estación de trabajo.

Tabla II. **Factor de simultaneidad**

Número de consumidores	Factor de simultaneidad
1	1
2	0,94
3	0,89
4	0,86
5	0,83

Fuente: elaboración propia.

La selección del compresor se determina esencialmente por el consumo nominal de aire comprimido; el caudal de salida libre deberá cubrir este

consumo, el o los compresores y sus tamaños se determinan principalmente por el grado de flexibilidad deseado, el sistema de control y la eficiencia energética.

El Q_{real} es el caudal promedio del flujo que se acerca a los requerimientos reales de una instalación.

$$Q_{real} = Q_{nominal} * \text{factor de utilización} * \text{factor de simultaneidad}$$

El caudal total se calcula con el caudal real, sumadas las tolerancias por fugas, desgaste y futuras expansiones.

$$Q_{total} = Q_{real} * (\text{expansiones (30 \%)} + \text{fugas (5 \%)} + \text{desgaste de herramienta (5 \%)})$$

1.10.3. Dimensionamiento de la tubería

Al dimensionar una red de tuberías, siempre se deberán realizar los cálculos pertinentes, la referencia o base para dichos cálculos ha de ser una disminución de la presión entre el compresor y los puntos de consumo de 1 bar máximo, incluyendo los valores de conmutación del compresor, el tratamiento estándar del aire y la red de tuberías.

En la red de aire comprimido los valores aproximados para el cálculo de la tubería en la conducción principal, la conducción de distribución y la tubería vertical o de consumo y la pérdida de presión es de 0,1 bar en toda la red. La disminución de presión viene motivada por el rozamiento en los tubos rectos y

por la oposición en las variaciones de dirección en los conductos, añadiendo las resistencias individuales de los accesorios.

La pérdida de presión en la red de aire comprimido se distribuye de la siguiente manera:

Tubería principal	0,03 bar
Tubería de distribución	0,03 bar
Tubería de vertical o consumo	<u>0,04 bar</u>
	0,10 bar

Esta lista muestra lo importante que es calcular las pérdidas en cada uno de los tramos por esta causa; las tuberías para aire comprimido deben estar ampliamente dimensionadas con la atención pertinente, preparando próximas ampliaciones; desde el punto de vista de explotación, no existe ningún riesgo en que una tubería quede sobredimensionada, la caída de presión será menor y la tubería intervendrá como depósito de aire.

El coste adicional como consecuencia de cierto agrandamiento de la dimensión es insignificante comprado con los gastos que pueden generarse si la red de tuberías ha de renovarse al cabo de algún tiempo.

En la red de tuberías se recomienda instalar una red de anillo cerrado ya que con esta distribución se mantiene la presión en todos los puntos siempre y cuando se disponga de un buen tratamiento de secado del aire comprimido ya que frecuentemente resulta difícil eliminar este condensado de la tubería.

1.10.4. Cálculo de la longitud de la tubería

El cálculo de la longitud de la tubería de aire comprimido se realizará a través del análisis de los planos de la estructura de la planta y la distribución de los equipos. A través de este análisis se establecerá la longitud de la conducción principal, distribución, de consumo y por lo tanto la longitud de todo el circuito de aire comprimido.

Añadido a esto se proyecta una lista de accesorios de tubería que se instalarán en la red; estos introducen una pérdida de carga al paso del fluido que circula por ellas.

Para calcular la pérdida de carga de los accesorios en función de parámetros suministrados por las casas comerciales, pero lo más habitual es realizar una aproximación que introduce errores muy pequeños en el cálculo de una instalación. Esta aproximación se realiza mediante tablas que designan a cada tipo de componente lo que se denomina longitud equivalente.

La longitud equivalente representa una longitud ficticia de tubería del mismo diámetro que el accesorio que introduciría la misma pérdida de carga que el propio accesorio, en otras palabras se sustituye el accesorio por un número determinado de metros de tubería que producen el mismo efecto. Utilizando su ecuación: $L_{eq}/D =$ al número correspondiente para cada accesorio; en la figura 8, despejando se obtiene la longitud equivalente del accesorio. Entonces la longitud total es la suma de la longitud total de tubería recta más la longitud equivalente provocada por los accesorios.

Para hacer una estimación de la longitud de las tuberías para el fin propuesto, habrá que multiplicar la longitud de las conducciones rectas por el factor 1,6.

$$Longitud_{total} = longitud_{recta} + longitud_{equivalente}$$

Figura 8. Longitud equivalente en diámetros de accesorios



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

Fuente: Signal Hill, C. A. *Válvulas de grúa*. p. 7.

1.10.5. Cálculo de la caída de presión

La pérdida de presión permisible está comprendida entre el 3 y el 6 % de la presión de trabajo del compresor o 0,1 bares en toda la red. Esta pérdida se obtiene de la sumatoria de las pérdidas de presión de cada línea de aire, más las caídas de presión establecidas en los accesorios.

La causa que aumente la caída de presión en la tubería se debe a pérdidas por fricción en el tubo y la cantidad de accesorios utilizados, diámetros insuficientes o muy pequeños en función del caudal de consumo de los equipos y longitudes muy extensas. Esta caída de presión se puede representar mediante varias ecuaciones y nomogramas; se representan dos ecuaciones generales para determinar el cálculo red o tubería.

$$\Delta P = \frac{\text{Factor } f * Le}{\text{factor } R * 1000} \left(\frac{lb}{pulg^2} \right)$$

Donde:

- Factor de pérdida (f): se determina mediante la tabla II, con el diámetro de la tubería en pulgadas y el caudal de aire requerido por la instalación en *Pies³/min.*
- Longitud equivalente (Le): la suma de la longitud recta de la tubería más la longitud equivalente de los accesorios en pies.

$$\text{Factor } R = \frac{\text{Presión}_{\text{instalación}} + \text{Presión}_{\text{atmosférica}}}{\text{Presión}_{\text{atmosférica}}}$$

De la siguiente ecuación se cuantifica la pérdida de presión en porcentaje:

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión en la instalación}}$$

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

CFM	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10
5	12,7	1,2	0,5										
10	50,7	7,8	2,2	0,5									
15	114	17,6	4,9	1,1									
20	202	30,4	8,7	2	0,9								
30	456	70,4	19,6	4,5	2								
40	811	125,3	34,8	8,1	3,6								
50		196	54,4	12,6	5,6	1,5							
60		282	78,3	18,2	8	2,2							
70		383	106,6	24,7	10,9	2,9	1,1						
80		503	139,2	32,3	14,3	3,8	1,5						
90		646	176,2	40,9	18,1	4,8	1,9						
100		785	217,4	50,5	22,3	6	2,3						
150			490	113,6	50,3	13,4	5,2	1,6					
200			870	202	89,4	23,9	9,3	2,9					
300				454	201	53,7	20,9	6,6					
400						94,7	37,1	11,7	2,7				
500						150	53	18,3	4,3				
600						215	83,5	26,3	6,2				
700						294	113,7	35,8	8,5	2,6			
800						382	148,4	46,7	11,1	3,3			
900						486	188	59,1	14	4,2			
1000						600	232	73	17,3	5,2	1,9		
1100						723	280,6	88,4	21	6,3	2,4		
1200						850	344	105,2	25	7,5	2,5		
1300							392	123,4	29,3	8,8	3,1		
1400									33,9	10,2	3,5		

Continuación de la tabla III.

1500									39	11,8	4,4		
1600									44,3	12,4	5,1		
1700									50,1	15,1	5,7		
1800									56,1	16,9	6,4		
1900									62,7	18,9	7,1	1,6	
2000									69,3	20,9	7,8	1,8	
2500									108,3	32,5	12,3	2,9	
3000									136	42	17,7	4,1	
4000									277	53,6	31,4	7,3	2,2
5000									433		49,1	11,5	4,4
6000											70,7	16,5	5
7000											96,2	22,5	6,3
8000											123,7	29,4	8,8
9000											159	37,2	11,2
10000											190	45,9	13,6

Fuente: elaboración propia.

La siguiente ecuación da como resultado la caída de presión que se sufre en la tubería, según los datos obtenidos en la instalación:

$$\Delta P = \frac{1.6 \times 10^3 * V^{1.85} * L}{d^5 * P_s}$$

Donde:

Δp : pérdida de presión (Pa)

V: flujo volumétrico m³/s

L: longitud total (m)

P_s: presión del sistema, absoluta (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Diagnóstico a la red de aire comprimido

Tennat, S. A. se abastece de una fuente centralizada de aire comprimido con cinco compresores de tornillo lubricados, marca Ingersoll rand, línea EP200 de 200 Hp, 125 psi y 892 cfm; tres compresores rotativos, marca Ingersoll rand, dos de ellos línea Centac, de 1 250 Hp, 6 400 cfm, 150 psi y el tercero, línea *Turbo air* de 700 Hp, 3 000 cfm, 150 psi y para tratamiento del aire comprimido, se cuenta con seis secadores refrigerativos marca Kaeser, línea IT 901.

Estas unidades compresoras abastecen la red de generación de aire comprimido; en esta red es en donde se da tratamiento de secado y se distribuye hacia cuatro plantas, las cuales se identifican como planta 1: hilatura; planta 2: tintorería y acabados; planta 3: tejeduría y planta 4: confección. La planta de tintorería y acabados está ordenada según la tabla IV, acorde al proceso textil en el cual utilizan equipos específicos para cada uno de los procesos y están distribuidos dentro de la planta de la siguiente manera:

Tabla IV. **Procesos y equipos utilizados**

Proceso	Equipo
Pretejido	Urdidoras, engomadora
Preparación de tela	Desengomadora, blanqueadora, mercerizadora, Lavadoras, chamuscadoras.
Teñido continuo	<i>Cold pad batch</i> , termosol, <i>Pad steam</i>
Teñido por agotamiento	Jigger, Fong's jets, Gaston, Atyc, Then, Mcs, bianco.

Continuación de la tabla IV.

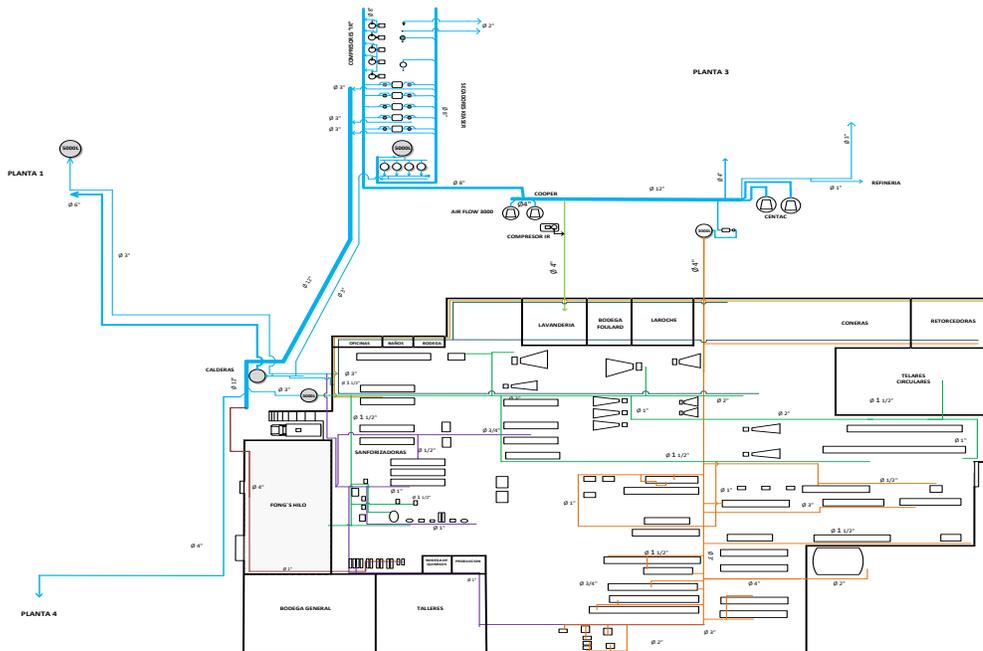
Acabados químicos	Sanforizadora, ramas
Acabados mecánicos	Afelpadora, tundidora, esmeriladora
Estampado	Zimmer, RD.

Fuente: elaboración propia.

2.1.1. Planos de la red de aire comprimido

Para la ejecución del proyecto fue necesario elaborar los planos de la red de aire comprimido, para la efectividad de su uso.

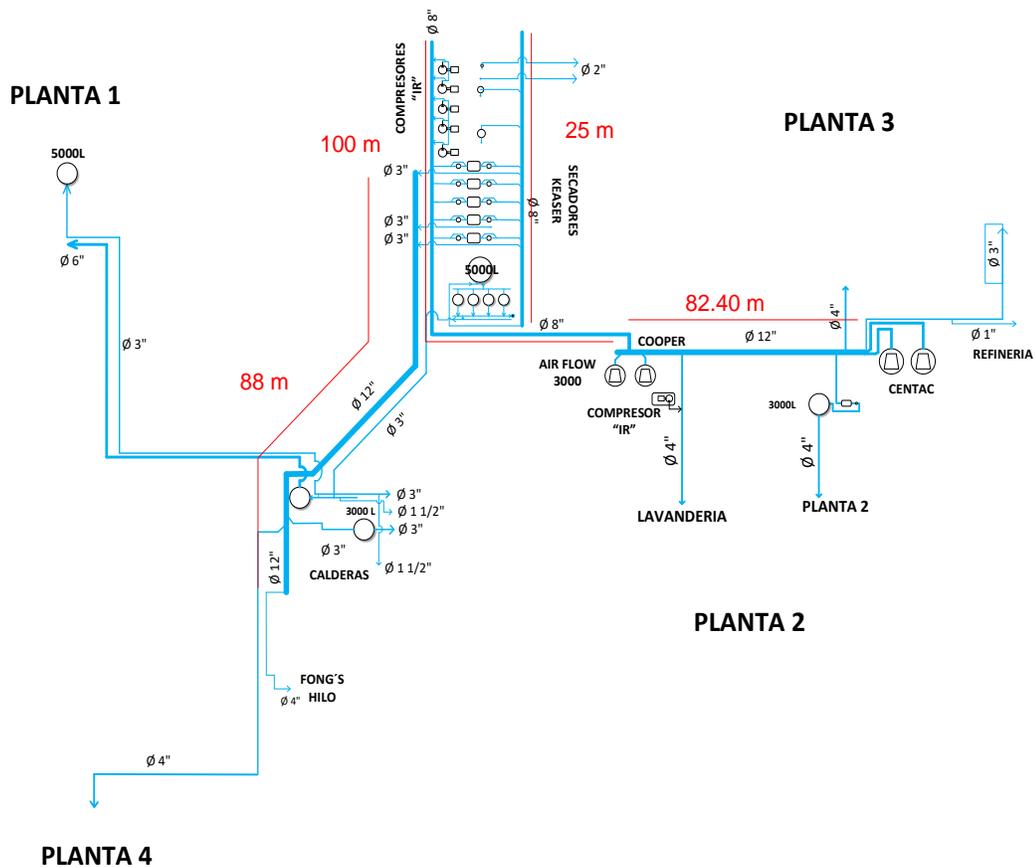
Figura 9. Red de generación y planta de tintorería y acabados



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

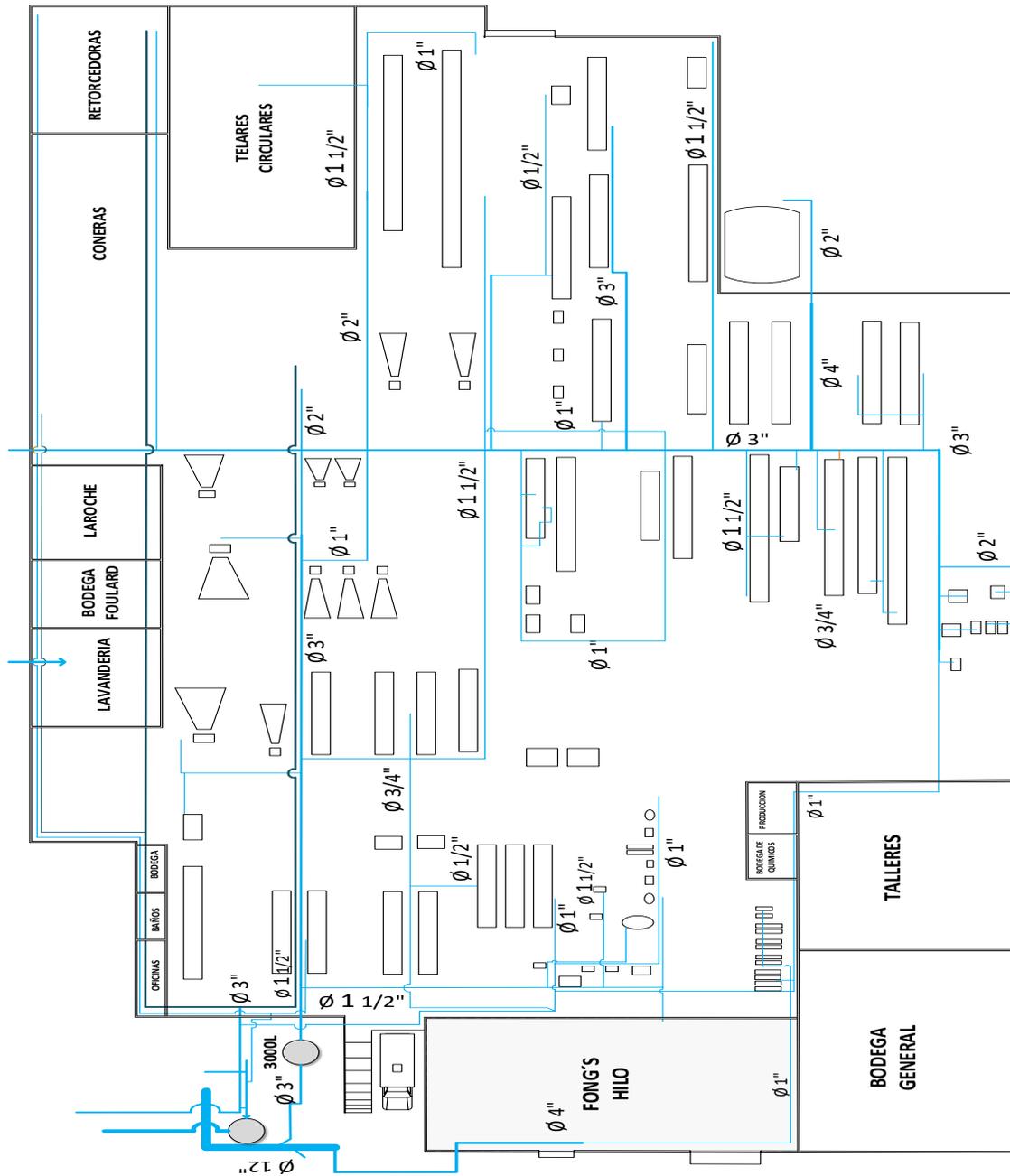
Para detallarlo de mejor manera, se dividen así: en la figura 10, la red de generación y en la 11, la planta 2 de tintorería y acabados.

Figura 10. Red de generación de aire comprimido



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

Figura 11. Distribución de red de aire comprimido en tintorería y acabados



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

2.1.2. Identificación de la red de aire comprimido

La finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido es distribuirlo a los puntos en los que se utiliza, con un volumen suficiente, y calidad y presión adecuadas, para propulsar correctamente los componentes que lo utilizan.

2.1.2.1. Red de generación

La red de generación de aire comprimido comienza con dos compresores centrífugos de la línea Centac de Ingersoll Rand, estos están conectados en paralelo a una tubería principal de color celeste, la cual tiene un diámetro 12" y 82,40 m de longitud; al finalizar los 82,40 m se conecta en paralelo el compresor centrífugo de la línea *Turbo Air* de Ingersoll Rand; en este punto el diámetro de la tubería principal disminuye a 8", el cual se extiende por una longitud de 100 m; al finalizar el manifold se conectan en paralelo cinco compresores de tornillo lubricado.

En un punto medio entre las turbinas y los compresores de tornillo se encuentra el tratamiento del aire comprimido; aquí ocurre el secado del caudal de los compresores centrífugos y los de tornillo; el tratamiento del aire comprimido consta de un filtro de partículas, un secador refrigerativo y un filtro de partículas de aceite conectados en serie; de este juego de filtros y secador refrigerativo se tienen cinco grupos conectados en paralelo con la capacidad necesaria para secar el aire comprimido de los compresores.

Seguido del tratamiento se encuentra el manifold principal, el cual es de 8"; este tiene una longitud de 25 m y abastece la planta 3: tejeduría; del manifold antes mencionado se deriva otro que se extiende por 88 m de longitud

con una tubería de 12" para abastecer a las plantas de hilatura, tintorería y acabados y confección, con tuberías propias a la distribución de cada una.

2.1.2.2. Planta de tintorería y acabados

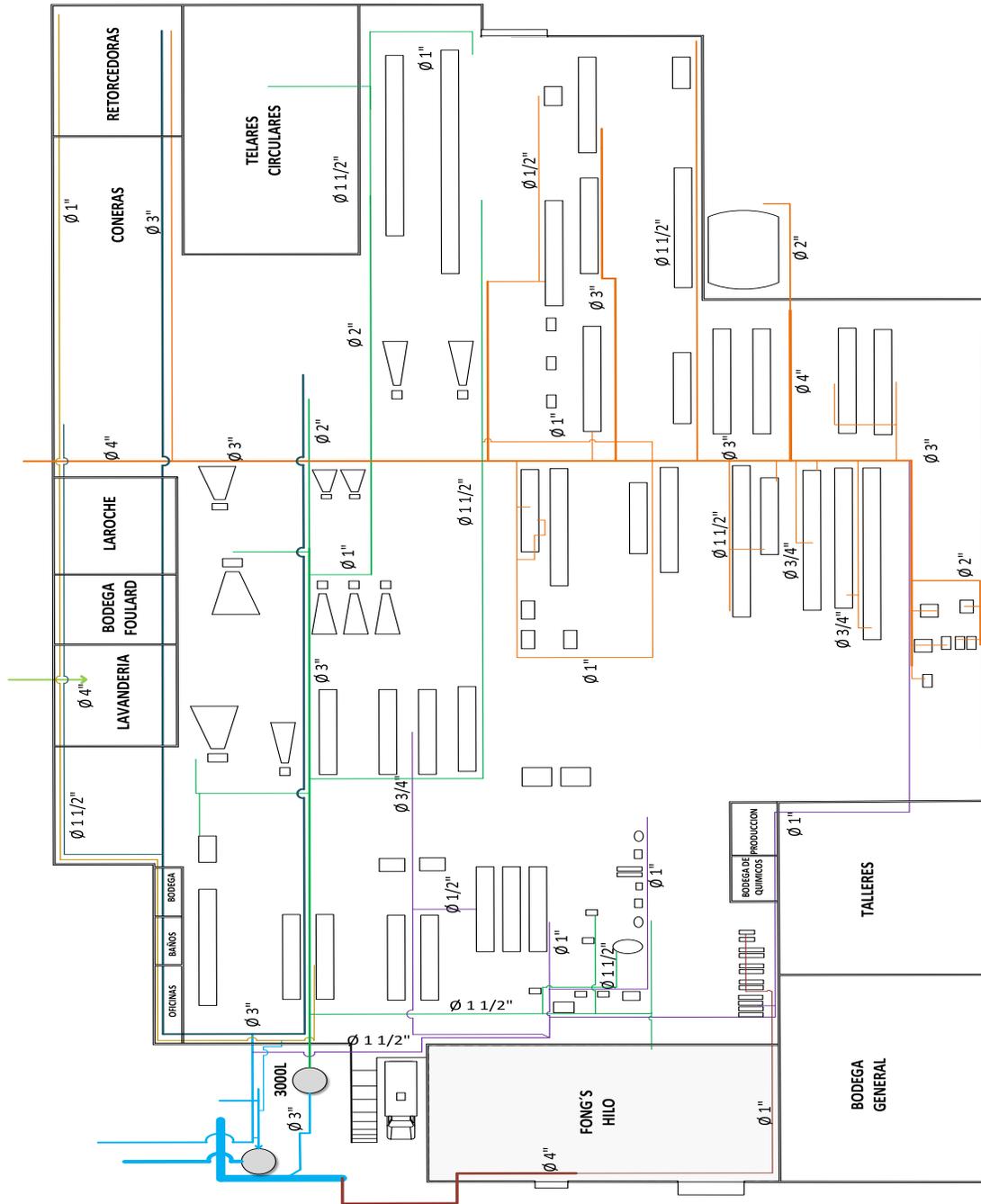
En la actualidad, la planta de tintorería y acabados se abastece mediante seis tuberías de diferentes diámetros, las cuales están conectadas de manera directa a la red de generación en diferentes puntos de su longitud; la distribución de tubería de aire comprimido se identifica mediante el color celeste, esta suele confundirse con la distribución de agua suave debido a que utilizan colores similares.

La red de distribución del aire comprimido cuenta con una instalación extra de aire utilizado para mangueras con fines de limpieza; esta se identifica mediante el color azul oscuro; dicha red se distribuye en el área de engomadoras, urdidoras, coneras y retorcedoras.

Con fines ilustrativos, debido a la distribución de la situación actual se le brinda un color a cada tubería representada en la figura 12:

- | | |
|---|-------------|
| • Tubería no. 1 de 4'' | Naranja |
| • Tubería no. 2 de 3'' | Verde |
| • Tubería no. 3 de 1 ½'' | Morada |
| • Tubo de 4'' para lavandería | Verde claro |
| • Tubo de 4'' para fong's de hilo | Corinto |
| • Tubo de 1 ½'' para coneras y retorcedoras | Marrón |
| • Tubería de volumen de 3'' | Azul |

Figura 12. Distribución de aire comprimido en planta de tintorería y acabados



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

2.1.3. Análisis de los diámetros utilizados en la red

Uno de los diámetros utilizados en la red principal, cuya medida es de 4", se reduce a 3"; el mismo proviene de los compresores Centac; la tubería, con 156 m de longitud es utilizada para abastecer las áreas de preparación de tela, acabados químicos y mecánicos, estampado *cold pad batch*, lavadora y termosol; esta tubería tiene un porcentaje de pérdida de presión de 5 %.

2.1.3.1. Tubería principal

La tubería de 3" proveniente del tanque de almacenamiento de 3 000 litros, ubicado en las calderas, tiene una longitud de 135 m; es utilizada para abastecer el área de urdidoras, engomadoras, lavadoras Menzel, *Pad steam* y desengomadora *babcock*; tiene un porcentaje de pérdida de 3,178 %.

La tubería de 1 ½", conectada al manifold de aire para volumen, es utilizada para abastecer el área de tintorería por agotamiento y sanforizado; tiene un porcentaje de pérdida de 6,817 %.

Por último, del manifold principal se deriva la tubería de 4" que abastece la planta de tintorería y secado de hilo y parte de tintorería por agotamiento; la misma abastece las Fong's jets y tiene un porcentaje de pérdida de 2,81 %.

2.1.3.2. Tubería secundaria o distribución

La tubería secundaria o de distribución que está conectada a la tubería principal de 3", proveniente de los compresores Centac, se distribuye dentro de las áreas de preparación de tela, acabados químicos, acabados mecánicos, estampado, *cold pad batch*, lavadora y termosol; utiliza diámetros diferentes

mediante una red abierta; los diámetros utilizados son: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1 ¼", 1, ½"; la suma de los porcentajes de pérdida de presión en cada tubería asciende a 8,490 %.

La tubería de 3" abastece el área de urdidoras, engomadoras, lavadora goller, *pad steam* y desengomadora *babcock*; es una red abierta; los diámetros utilizados son: 2", 1 ½"; en dicha tubería se tiene un porcentaje de pérdida de presión de 19,37 %.

La tubería de 1 ½" abastece al área de tintorería por agotamiento y sanforizadora; al igual que las anteriores es una red abierta que se distribuye mediante una tubería de ¾" para sanforizado y 1" para tintorería por agotamiento; en la misma se tiene 9,04 % de pérdida de presión.

2.1.3.3. Tubería de servicio

Dado lo anterior cada tubería de distribución tiene un porcentaje total de pérdida en sus tuberías servicio para la tubería de 4" que reduce a 3" la cual abastece las áreas de preparación de tela, acabados químicos y mecánicos, estampado *cold pad batch*, lavadora y termosol que son parte de teñido continuo tiene 9,26 % de pérdida de presión.

Para la tubería de 3" que abastece el área de urdidoras, engomadoras, lavadoras Goller, *pad steam* y desengomadora Babcock, tiene 15,13 % de pérdida de presión. En cuanto a la tubería de 1 ½", la cual abastece el área de tintorería por agotamiento y sanforizado, tiene el 7 % de pérdida de presión.

2.1.4. Longitud de la tubería

La tabla IV representa la longitud total del tendido de la tubería recta en distribución y la tubería de consumo.

2.1.4.1. Tubería recta instalada en tintorería y acabados

En la planta de tintorería y acabado, debido a la distribución y ubicación de los equipos, se tienen instalados aproximadamente 3 238 m de tubería.

Tabla V. Longitud y diámetros de tubería instalada

Longitud (m)	Distribución de longitud de tubería						
	4"	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"
243	98	135					10
160		160					
152		152					
351		351					
366		366					
146			124				22
216				216			
181			161	20			
317		37	30	170	20	40	20
95		95					
117			81		36		
88	51		37				
200					161		39
129						129	
35							35
59					59		
22							22

Continuación de la tabla V.

25							25
73					45		28
120				120			
45					45		
36				36			
26							26
36							36
3 238	149	1 296	433	562	366	169	263

Fuente: elaboración propia.

2.1.5. Análisis de los accesorios utilizados en la tubería

En la red de planta 2 de tintorería y acabados se instalaron aproximadamente 292 accesorios con diferentes funciones y medidas, los que inciden en una pérdida de presión al paso del fluido de aire que circula por la tubería, representando a tramo recto de 728 m de longitud extra, que sumado a la tubería real esta se aumenta de 3 238 a 3 966 m.

Cada accesorio y su longitud equivalente son especificados en las tablas VI y VII, según tipo y diámetro.

Cada aumento de la cantidad de accesorios técnicamente incrementa la longitud equivalente, la cual aumenta la longitud total de la red y por consiguiente se eleva la pérdida de presión en la tubería analizada.

Tabla VI. Longitud equivalente de accesorios de 4", 3", 2", 1 1/2"

Accesorio	4"			3"			2"			1 1/2"		
	4	Le	Total	3	Le	Total	2	Le	Total	1 1/2	Le	Total
Tee	3	80	240	15	60	900	11	40	440	14	30	420
Codo 90	11	200	2200	23	150	3450	16	100	1600	2	75	150
Codo 45	4	104	416	11	78	858	6	52	312	1	39	39
Val. compuerta	1	32	32	2	24	48	1	16	16	1	12	12
Reducidor	3	98	294	3	79	237		39	0	1	28	27,6
Val. globo		1360	0	2	1020	2040		680	0		510	0
Val. bola	1	600	600	6	450	2700	3	300	900	2	225	450
Metros	Total 4"		96,1	Total 3"		259,9	Total 2"		83	Total 1 1/2"		27,9
Pies			315			852,5			272			91,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Longitud equivalente de accesorios de 1", 3/4", 1/2"

Accesorio	1"			3/4"			1/2"		
	1	Le	Total	3/4	Le	Total	1/2	Le	Total
Tee	14	20	280	12	15	180	12	10	120
Codo 90	17	50	850	23	37.5	863	33	25	825
Codo 45	3	26	78		19.5	0		13	0
Val. compuerta	4	8	32	4	6	24		4	0
Reducidor	1	20	20	2	14	28			0
Val. globo		340	0		255	0	11	170	1870
Val. bola	14	150	2100	20	112.50	2250	40	75	3000
Metros	Total 1"		85,3	Total 3/4"		27,8	Total 1/2"		148
Pies			280			91.2			484

Fuente: elaboración propia.

2.2. Identificar fugas

Los límites permisibles para una red de aire comprimido es el 5 % en fugas del volumen de entrega total de los compresores. La red de distribución de aire comprimido de Tennat, S. A. es una red centralizada, por lo que se debe tener mucho cuidado en evaluar, ya que tendrían que distribuirse en 1,25 % las fugas para cada planta del total de 4, para totalizar el 5 % permisible.

Para determinar pérdidas ocasionadas por fugas en una red de aire comprimido, para sistemas que trabajan a 6 bares, se utiliza la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Cálculo de fugas a 6 bares de presión**

Diámetro correspondiente del agujero (mm)	Consumo de aire a 6 bares (m^3/min)	Pérdida (KW)
1	0,065	0,46
2	0,257	1,8
3	0,6	3,1
4	1,03	7,21
5	1,62	8,3
6	2,31	16,17
10	6,3	33

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Kaeser compresores.

Tabla IX. Fugas de aire comprimido en planta tintorería y acabados

Equipo	Ubicación de la fuga	Diámetro del agujero (mm)	Pérdida	
			m ³ /min	KW
Fong's 8	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Atyc	Mangueras traseras	2 mm	0,257	1,8
	Válvula	1 mm	0,065	0,46
Jigger 4	Válvula	1 mm	0,065	0,46
	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Then 2	Unidad FRL	2 mm	0,257	1,80
Fong's 5	Panel de distribución	1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Brazzoly	Válvula de limpieza abierta	4 mm	1,03	7,21
		4 mm	1,03	7,21
Mcs pequeña	Válvula, superior	2 mm	0,257	1,80
Gastón	Regular de presión inferior	1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
	Panel de distribución superior	1 mm	0,065	0,46
Cold pad Bach 4	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
	Foulard	1 mm	0,065	0,46
Termosol 3	Panel de Foulard	1 mm	0,065	0,46
	Unidad FRL, cil. inicial	1 mm	0,065	0,46
Rama Torres	Val. de aceite térmico	1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Estampadora Zimmer	Acople de mangueras a baños	2 mm	0,257	0,18
		1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Rama Artos 1	mangueras	1 mm	0,065	0,46

Continuación de la tabla IX.

Rama Artos 2	Cilindros a la salida de tela	1 mm	0,065	0,46
Stock IV	Mangueras detrás de unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Mercerizadora	Compuerta 15	2 mm	0,257	0,18
	Compuerta 14	1 mm	0,065	0,46
	Manguera bajo comp, 12	1 mm	0,065	0,46
Menzel	Unidad FRL	3 mm	0,6	3,1
Babcock	J inicial	1 mm	0,065	0,46
	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Sanforizadora 2	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Compactadora Tubetex	Válvula	1 mm	0,065	0,46
Sanforizadora 4	Rodillo guía	2 mm	0,257	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Engomadora 7	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Engomadora 6	Unidad FRL	1 mm	0,065	0,46
Engomadora 5	Unidad FRL	2 mm	0,257	0,46
Engomadora 4	Válvula, unidad FRL	2 mm	0,257	0,46
		1 mm	0,065	0,46
Lavandería	Tubo de distribución, unión universal	6 mm	2,31	16,17
Total			9,171	56

Fuente: elaboración propia.

En la planta se cuantificó una totalidad de 9,17 m³/min igual a 323,87 cfm por fugas detectadas, representando un equivalente de pérdida de energía eléctrica de 56 KW.

La planta de producción se abastece con 13 080 cfm de aire comprimido, por lo que su límite permisible correspondería a 1,25 % \approx 4,6 m³/min pero su límite verificado actualmente está en 9,17 m³/min, o sea fuera de los límites permisibles.

2.3. Consumo de aire comprimido por equipo

El consumo de aire comprimido en la planta de tintorería y acabado se define mediante las tablas X y XI; estos datos representan el consumo nominal.

Tabla X. **Consumo de aire comprimido en tintorería y acabados**

No.	Equipo	Consumo ideal	
		Litro/s	Cfm
1	Afelpadora lamperti 1 y 2	2,08	4,40727
2	Afelpadora lamperti 3	2,08	4,40727
3	Esmeriladora lafer	7,78	16,4849
4	Compactadora 1	4,16	8,81455
5	Compactadora 2	4,16	8,81455
6	Compactadora ferraro	5,7	12,0776
7	Cortadora corduroy 1	2,08	4,40727
9	Sanforizadora 1	6,24	13,2218
10	Sanforizadora 2	6,24	13,2218
11	Sanforizadora 3	6,24	13,2218
12	Sanforizadora 4	6,24	13,2218
13	Sanforizadora 5	6,24	13,2218
14	Airo biancalani	7,78	16,4849
15	Tundidora suker 1	4,16	8,81455
16	Tundidora vollenwider 2	5,7	12,0776
17	Rama artos 1	6,15	13,0311

Continuación de la tabla X.

18	Rama artos 2	6,15	13,0311
19	Rama artos unistar 3	11,4	24,1553
20	Rama artos 4	2,08	4,40727
21	Rama artos 5	2,08	4,40727
22	Rama <i>babcock</i>	2,08	4,40727
23	Rama monforts	29,5	62,507
24	Rama torres	11,02	23,3501
25	Engomadora y teñidora máster	32,38	68,6094
26	Engomadora suker muller 4	7,78	16,4849
27	Engomadora suker muller 5	7,78	16,4849
28	Engomadora zeell benninger 2	7,78	16,4849
29	Engomadora zeell benninger 3	7,78	16,4849
30	Engomadora zeell benninger 6	7,78	16,4849
31	Engomadora zeell benninger 7	7,78	16,4849
32	Estampadora zimmer	18,4	38,9874
33	Estampadora rd3	10	21,1888
34	Estampadora rd4	10	21,1888
35	Bianco 1	7,78	16,4849
36	Bianco 2	7,78	16,4849
37	Atyc	2,08	4,40727
38	Brazzoli	4,16	8,81455
39	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #14	2,08	4,40727
40	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #15	2,08	4,40727
41	Teñidor tela fongs eco 1 2005	7,78	16,4849
42	Teñidor tela fongs eco 2 2009	7,78	16,4849
43	Teñidor tela fongs mk 3 2000	2,08	4,40727
44	Fongs 5	67,08	142,135
45	Fongs 8	2,08	4,40727
46	Gaston 7	10	21,1888
47	Teñidor tela mcs grande	4,16	8,81455
48	Teñidor tela mcs pequeña	2,08	4,40727

Continuación de la tabla X.

49	Scholl	2,08	4,40727
50	Then airflow synergy	25,58	54,201
51	Then 2	20,38	43,1828
52	Jigger 1	2,08	4,40727
53	Jigger 3	2,08	4,40727
54	Jigger 4	2,08	4,40727
55	Teñidor fongs labwin-6 #5	2,08	4,40727
56	Teñidor fongs labwin-6 #1	2,08	4,40727
57	Teñidor fongs labwin-6 #2	2,08	4,40727
58	Teñidor fongs labwin-6 #3	2,08	4,40727
59	Teñidor fongs labwin-6 #4	2,08	4,40727
60	Blanqueador artos	36,9	78,1867
61	Cepillado corduroy	5,7	12,0776
62	Chamuscadora 1	18,4	38,9874
63	Chamuscadora 2	18,4	38,9874
64	Desengomadora artos	36,9	78,1867
65	Cold pad batch 1	2,08	4,40727
66	Desengomadora <i>babcock</i>	28,4	60,1762
67	Lavadora Goller	18,4	38,9874
68	Lavadora Menzel	11,3	23,9434
69	Mercerizadora benninger	12,48	26,4436
70	Equipo korting	2,08	4,40727
71	Revisadora 1	2,08	4,40727
72	Revisadora 2	2,08	4,40727
73	Revisadora 3	2,08	4,40727
74	Revisadora 4	2,08	4,40727
75	Revisadora 5	2,08	4,40727
76	Secadora de hilo stalam	5,7	12,0776
77	Cold pad batch 3	5,7	12,0776
78	Cold pad batch 4	5,7	12,0776
79	Cold pad batch goller 1	5,7	12,0776

Continuación de la tabla X.

80	Caldera basuki	16,64	35,2582
81	<i>Pad steam goller</i> colora	38,38	81,3227
82	Termosol monfort 2	6,24	13,2218
83	Termosol artos 3	17,07	36,1693
84	Urdidora benninger 2	5,7	12,0776
85	Urdidora benninger 4	5,7	12,0776
86	Urdidora benninger 9	5,7	12,0776
87	Urdidora benninger 10	5,7	12,0776
88	Urdidora benninger 12	5,7	12,0776
89	Urdidora hacoba	11,4	24,1553
90	Urdidora benninger sectional 5	5,7	12,0776
91	Urdidora benninger sectional 6	5,7	12,0776
92	Urdidora benninger sectional 7	5,7	12,0776
93	Urdidora benninger sectional 8	5,7	12,0776
94	Urdidora <i>west point</i>	11,4	24,1553
Consumo de aire comprimido en tintorería y acabados (cfm):			1 769,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Consumo nominal de aire comprimido secado y teñido de hilo**

No.	Equipo	Consumo ideal	
		Litros/s	Cfm
1	Secador fongs 1	36,84	78,0596
2	Secador fongs 2	36,84	78,0596
3	Secador fongs jr 3	67,5	143,025
4	Secador fongs 4	24,1	51,0651
5	Secador fongs 5	24,2	51,2769
6	Secador fongs 6	25,1	53,1839

Continuación de la tabla XI.

7	Fongs allwin-226 1400 kg	392	830,602
8	Fongs allwin-120 500 kg	67	141,965
9	Fongs allwin-105 300 kg 1	67	141,965
10	Fongs allwin-105 300 kg 2	67	141,965
11	Fongs allwin-105 300 kg 3	67	141,965
12	Fongs jr 10	20,48	43,3947
13	Fongs jr 16	20,48	43,3947
14	Fongs jr 17	20,48	43,3947
15	Fongs jr 18	20,48	43,3947
16	Fongs jr 19	20,48	43,3947
17	Fongs 20	67	141,965
18	Fongs 21	67	141,965
19	Fongs 22	67	141,965
20	Fongs 23	67	141,965
21	Fongs 24	20,48	43,3947
22	Fongs jr 25	20,48	43,3947
23	Fongs jr 26	20,48	43,3947
	Consumo tintorería de hilo (cfm):		2 768,15

Fuente: elaboración propia.

2.4. Cálculo de caída de presión en la red actual

La pérdida de presión analizada se divide en 2 redes: la red de generación que abarca los compresores hasta el manifold en donde se conectan las cuatro plantas y la red de planta 2, tintorería y acabados, en donde se encuentran las áreas de urdido, engomado, preparación, teñido continuo, teñido por agotamiento, estampado, acabados mecánicos y acabados químicos, secado y teñido de hilo.

2.4.1. Pérdida de presión en la red de generación

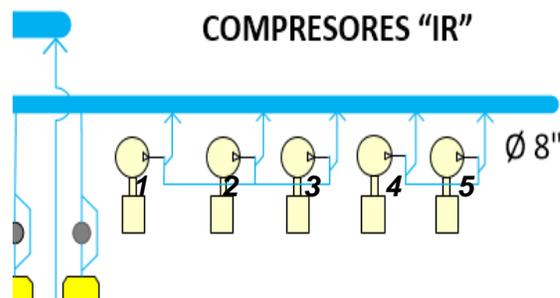
La figura 14 muestra la distribución de la red de generación de aire comprimido dividida en cinco tramos principales:

- Tramo 1: es donde da inicio la generación de aire comprimido con los compresores centrífugos Centac, los cuales están conectados en paralelo y trabajan a presiones distintas, 100 psi y 110 psi en promedio; como resultado la presión promedio en el tramo 1 es de 105 psi; esta presión baja ya que en este tramo se alimenta dos tuberías de 4".
 - La primera tubería alimenta la planta de tintorería y acabados, la cual abastece las áreas de preparación de tela, estampado, acabados mecánicos y químicos, tintorería continua, caldera Basuki; dicha tubería consta de un secador refrigerativo, el cual carece de mantenimiento; se observa por medio de sus manómetros de entrada y salida del flujo que se tiene una pérdida de presión promedio de 10 psi.
 - La segunda tubería de 4" abastece la lavandería, esta carece de tratamiento de secado, dando como resultado problemas de humedad en los puntos de consumo.
- Estas tuberías de 4" antes mencionadas provocan que baje la presión al finalizar el tramo 1 a 101 psi en promedio; al finalizar el tramo 1 se conecta a la red el compresor *Turbo air*; en este, su tubería de descarga está en sentido opuesto al caudal de los compresores Centac, lo cual hace que este module su presión de descarga en promedio a 103 psi o 2 psi, por encima de la presión del sistema; en el tramo 1 posee un

porcentaje de pérdida de presión por fricción de 0,19 psi, más la pérdida de presión por la extracción de caudal de las dos tuberías de 4" que asciende en promedio a 3,81 psi, el cual da como resultado 4 psi; esta medición se realiza por medio de manómetros instalados.

- En el tramo 2 se reduce el diámetro de la tubería de 12" a 8", mientras que el caudal que transporta aumenta a la suma del caudal de descarga de los tres compresores centrífugos; esto hace que la pérdida de presión aumente a 2,93 psi hasta llegar a la entrada del tramo 4.
- En el tramo 3 se encuentran cinco compresores de tornillo lubricados, los cuales están conectados en paralelo a la tubería de 8", la cual descarga hacia el tramo 4; la presión de descarga de los compresores se mantiene en promedio a 96,4 psi; los compresores trabajan a distintas presiones mostradas en el siguiente listado, tomado como ubicación en la figura 13; el compresor 1 es el que está justo al lado de los secadores refrigerativos. Las presiones de trabajo promedio de los compresores son las siguientes: compresor 1 a 93 psi, compresor 2 a 99 psi, compresor 3 a 94 psi, compresor 4 a 95 psi, compresor 5 a 103 psi.

Figura 13. **Distribución de los compresores de tornillo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

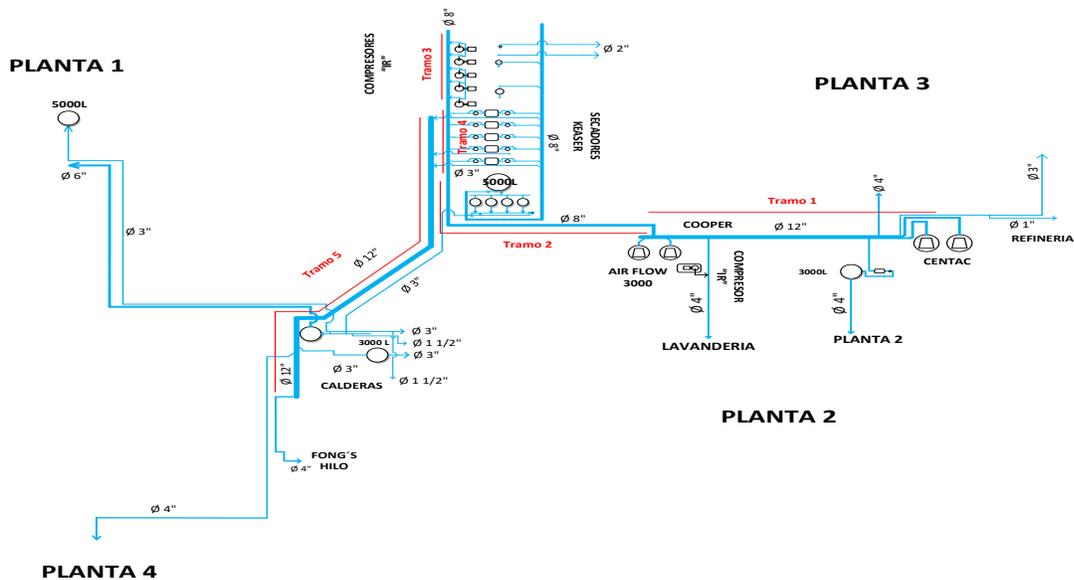
- El tramo 4 es la entrada a la sección de tratamiento del aire comprimido, el cual consiste de un filtro de partículas, secador refrigerativo y un filtro de aceite; en los cuales se tiene de una caída de presión teórica de 0,14 bar, 0,2 bar y 0,14 bar, respectivamente; debido a que los filtros y secadores se encuentran en serie la pérdida de presión asciende a 0,5 bar equivalente 6,96 psi; dicha pérdida puede aumentar debido a la suciedad y falta de mantenimiento; este tramo consta de cinco juegos de filtros y secadores conectados en paralelo. Por lo tanto, en el tramo 1 se tiene una pérdida de 4 psi; en el tramo 2 se tiene una pérdida de presión de 2,93 psi; en el tramo 4 o tratamiento del aire que oscila en promedio de 6,96 psi, para hacer una pérdida total de 13,89 psi, que equivaldría a un porcentaje de pérdida de presión del 11,84 %; esto correspondería una presión de servicio de 91,11 psi en la tubería de 8"; en esta tubería se abastece la planta 3 de tejeduría.
- El tramo 5 inicia en la tubería de 8" abastece la planta 3, tejeduría; en él están conectadas tres tuberías de 3" en paralelo, las cuales suministran aire comprimido a una tubería de 12"; esta abastece a la plantas de hilatura, de tintorería y acabados y de confección; en dicha tubería de 3" se tiene una pérdida de presión de 1,54 psi, más la pérdida de presión en el tubo de 12" equivalente a 0,21 psi, da como resultado 15,6 psi de pérdida de presión; esto da como resultado que en la tubería de 12" donde se abastecen las plantas de hilatura, tintorería y acabados y de confección, se tenga en promedio una presión de servicio de 89,55 psi, lo que equivaldría a 14,71 % de pérdida de presión. Por último, las tuberías de generación están dotadas de dos purgadores manuales de humedad abiertos al ambiente, en los cuales se tiene una fuga de aire comprimido considerable.

Tabla XII. Caída de presión en el manifold de generación

Tramo	Compresor	m^3/s	$Q^{1.85}$	Longitud (m)	Diámetro		Presión	Δ presión (Pa)	Δ presión (psi)
					(Pulg.)	(m)			
1	Turbinas centac	4,76033	17,932	97,42	12	0,00263	825 302	1287,39	0,18667
2	Air flow + centac	6,1771	29,03695	120	8	0,00035	797 696	20174,2	2,92526
3	Compresores ir tornillo	1,59103	2,361041	20	8	0,00035	762 977	285,84	0,04145
4	Salida de lo secadores, Δ presión = 6,9 psi								6,9
5	Tubo de 3" para alimentar tubo de 12"	1,47973	2,06461	6	3	2,6E-06	728776	10586,2	1,535
	Manifold para planta 1,2,4	4,4392	15,75844	110	12	0,00263	728776	1446,63	0,20976

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Caída de presión en el manifold de generación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

2.4.2. Caída de presión en red de distribución en planta de tintorería y acabados

En la tabla XIII se ordenaron los equipos tal y como se encuentran instalados en la red de aire comprimido dentro de la planta, de conformidad con sus ramales y líneas principales. Las primeras dos columnas se encuentran designadas y numeradas, la primera columna "N.D" significa al número de circuito o ramal de distribución de la tubería principal y la siguiente columna; "N.V" es el número de equipo instalado en ese circuito o ramal de distribución, mediante la tubería vertical o de servicio.

Se hace de esta manera para conocer la caída de presión en cada ramal de la distribución y en cada equipo; dicha caída de presión está definida en las tablas XIV, XV, XVI y XVII.

Por ejemplo: se desea conocer la caída de presión en el equipo "*Cold pad Batch Goller*":

- Se busca en la tabla XIII el equipo *Cold pad batch Goller*
- Se identifica la numeración N. D = 1 y N. V = 5
- Se identifica en la tabla XIII el valor 1 en la tubería de distribución y el valor 5 en la tubería vertical.
- Se suma el valor de la columna en Δ presión.

Tubería principal = 5,00 psi

Tubería N.D = 2,41 psi

Tubería N.V = 0,14 psi

7,55 psi

La caída de presión en la *Cold pad Bach Goller* es igual a 7,55 psi.

Tabla XIII. **Distribución de equipos en la red de distribución de tintorería y acabados**

N. D	N. V	Equipo
1	1	Termosol artos 3
	2	Rama artos unistar 3
	3	Cold pad batch 3
1	4	Cold pad batch 4
	5	Cold pad batch goller 1
	6	Compactadora ferraro
	7	Rama torres
2	8	Rama monforts
3	9	Rama artos 1
	10	Rama artos 2
4	11	Esmeriladora lafer
	12	Cortadora corduroy 1
5	13	Afelpadora lamperti 1 y 2
	14	Afelpadora lamperti 3
6	15	Airo biancalani
	16	Tundidora suker 1
	17	Tundidora vollenwider 2
7	18	Estampadora rd3
	19	Estampadora rd4
8	20	Rama artos 5
	21	Caldera basuki
9	22	Termosol monfort 2
	23	Mercerizadora benninger
	24	Rama artos 4
	25	Equipo korting
10	26	Desengomadora artos
	27	Blanqueador artos
	28	Revisadora 1

Continuación de la tabla XIII.

11	29	Lavadora menzel
	30	Revisadora 2
	31	Revisadora 3
	32	Rama babcock
	33	Estampadora zimmer
12	34	Urdidora benninger sectional 5
	35	Urdidora benninger sectional 6
	36	Urdidora benninger 9
	37	Urdidora benninger 10
	38	Urdidora benninger sectional 8
	39	<i>Pad steam goller colora</i>
	40	Lavadora goller
13	41	Engomadora zeell benninger 7
	42	Urdidora benninger sectional 7
	43	Engomadora suker muller 5
	44	Engomadora zeell benninger 6
	45	Revisadora 4
	46	Desengomadora babcock
	47	Revisadora 5
	48	Cold pad batch 1
	49	Chamuscadora 1
	50	Chamuscadora 2
14	51	Bianco 1
	52	Bianco 2
	53	Teñidor fongs labwin-6 #5
	54	Teñidor fongs labwin-6 #1
	55	Teñidor fongs labwin-6 #2
	56	Teñidor fongs labwin-6 #3
	57	Teñidor fongs labwin-6 #4
	58	Secadora de hilo stalam
	59	<i>Scholl</i>
	60	Fongs 5

Continuación de la tabla XIII.

	61	Urdidora hacoba
	62	Urdidora benninger 2
	63	Engomadora suker muller 4
	64	Urdidora benninger 12
	65	Urdidora west point
	66	Urdidora benninger 4
15	67	Sanforizadora 1
	68	Sanforizadora 2
	69	Sanforizadora 3
	70	Sanforizadora 4
	71	Compactadora 1
	72	Compactadora 2
16	73	Sanforizadora 5
	74	Atyc
	75	Brazzoli
	76	Then airflow synergy
	77	Then 2
	78	Jigger 1
	79	Jigger 3
	80	Jigger 4
	81	Gaston 7
	82	Teñidor tela mcs grande
	83	Teñidor tela mcs pequeña
	84	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #14
	85	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #15
	86	Teñidor tela fongs eco 1 2005
	87	Teñidor tela fongs eco 2 2009
	88	Teñidor tela fongs mk 3 2000
	89	Fongs 8
	90	Engomadora zeell benninger 2

Continuación de la tabla XIII.

	91	Engomadora zeell benninger 3
	92	Teñidora y engomadora máster

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Caída de presión en tubería de distribución 1**

Red		Diámetro	Caudal (Cfm)	Factor de pérdida	Longitud equivalente (Pies)	Factor "R"	Factor de conversión	Δ presión
Principal	Principal Centac	3	656,00	31,53	1128,97	7,12	1000	5,000
Distribución	Línea 1	1 1/4	101,82	22,00	779,00	7,12	1000	2,407
	Línea 2	1 1/2	62,50	8,73	256,00	7,12	1000	0,314
	Línea 3	1	26,06	15,31	387,37	7,12	1000	0,833
	Línea 4	1/2	20,89	224,86	75,40	7,12	1000	2,381
	Línea 5	1/2	8,81	41,69	107,67	7,12	1000	0,630
	Línea 6	2	37,38	1,12	246,25	7,12	1000	0,039
	Línea 7	1	42,40	40,00	120,82	7,12	1000	0,679
	Línea 8	2 1/2	39,67	0,63	168,46	7,12	1000	0,015
	Línea 9	1 1/4	48,48	11,91	448,65	7,12	1000	0,750
	Línea 10	3	160,78	1,88	575,72	7,12	1000	0,152
	Línea 11	1	28,35	17,80	116,00	7,12	1000	0,290
Servicio	1	3/4	36,17	80,00	7,20	7,12	1000	0,128
	2	3/4	24,15	47,00	78,00	7,12	1000	0,502
	3	1/2	12,08	77,29	51,17	7,12	1000	0,542
	4	1/2	12,08	77,29	59,70	7,12	1000	0,632
	5	3/4	12,08	11,87	85,28	7,12	1000	0,139
	6	3/4	12,08	11,87	59,70	7,12	1000	0,097
	7	1	23,35	12,35	298,48	7,12	1000	0,505
	8	1	62,50	85,40	76,70	7,12	1000	0,920
	9	3/4	13,03	13,74	298,48	7,12	1000	0,562
	10	3/4	13,03	13,74	298,48	7,12	1000	0,562
	11	1/2	16,48	140,13	42,64	7,12	1000	0,819

Continuación de la tabla XIV.

Servicio	12	1/2	4,41	11,20	42,64	7,12	1000	0,065
	13	1/2	4,41	11,20	51,17	7,12	1000	0,079
	14	1/2	4,41	11,20	25,58	7,12	1000	0,039
	15	1	16,48	6,03	42,64	7,12	1000	0,035
	16	1/2	8,81	41,69	42,64	7,12	1000	0,244
	17	1/2	12,08	77,03	34,11	7,12	1000	0,360
	18	1	21,19	10,00	25,58	7,12	1000	0,035
	19	1	21,19	10,00	34,11	7,12	1000	0,047
	20	1	4,41	1,80	38,38	7,12	1000	0,009
	21	2	35,26	1,06	39,00	7,12	1000	0,006
	22	3/4	13,22	14,11	42,64	7,12	1000	0,082
	23	1 1/2	26,44	1,61	51,17	7,12	1000	0,011
	24	1	4,41	0,50	34,11	7,12	1000	0,002
	25	1/2	4,41	11,20	21,32	7,12	1000	0,033
	26	3/4	78,19	479,00	29,00	7,12	1000	1,950
	27	1 1/2	78,19	14,30	187,02	7,12	1000	0,376
	28	1/2	4,41	11,20	34,11	7,12	1000	0,052
	29	3/4	23,94	46,40	25,58	7,12	1000	0,163
	30	3/4	4,41	1,06	42,64	7,12	1000	0,006
31	1/2	4,41	11,20	42,64	7,12	1000	0,065	
32	3/4	4,41	1,06	51,17	7,12	1000	0,007	
33	1	38,99	29,00	39,00	7,12	1000	0,182	

Fuente: elaboración propia.

La caída de presión en la línea 1:

$$\Delta P_{total} = \Delta p_{principal} + \Delta p_{distribución} + \Delta p_{consumo}$$

$$\Delta P_{total} = 5 + 8,5 + 9,26$$

$$\Delta P_{total} = 22,76$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{22,76 * 100}{90} = 25,29 \%$$

Tabla XV. **Caída de presión en tubería de distribución 2**

Red		Diámetro	Caudal (Cfm)	Factor de pérdida	Longitud equivalente (Pies)	Factor "R"	Factor de conversión	Δ presión
Principal	Manifold principal	3	708,25	36,00	628,50	7,12	1000	3,178
Distribución	Línea 12	2	180,70	19,85	200,55	7,12	1000	1,629
	Línea 13	1 1/2	212,90	103,79	316,69	7,12	1000	13,547
	Línea 14	1 1/2	213,63	104,61	318,24	7,12	1000	4,194
Servicio	34	3/4	12,08	47,04	51,17	7,12	1000	0,330
	35		12,08					
	36	1/2	12,08	47,04	51,17	7,12	1000	0,330
	37		12,08					
	38	1/2	12,08	77,00	51,17	7,12	1000	0,540
	39	2	81,32	4,00	59,70	7,12	1000	0,033
	40	1/2	38,99	811,00	29,85	7,12	1000	3,316
	41	3/4	16,48	21,40	38,38	7,12	1000	0,112
	42	1/2	12,08	78,00	34,11	7,12	1000	0,364
	43	3/4	16,48	21,40	42,64	7,12	1000	0,125
	44	1/2	16,48	132,80	42,64	7,12	1000	0,776
	45	1/2	4,41	11,20	59,70	7,12	1000	0,092
	46	1 1/2	60,18	8,05	20,80	7,12	1000	0,023
	47	1/2	4,41	11,20	42,64	7,12	1000	0,065
	48	1/2	4,41	11,20	312,00	7,12	1000	0,479
	49	1	38,99	132,68	64,36	7,12	1000	1,200
	50		38,99					
	51	1/2	16,48	132,80	34,11	7,12	1000	0,621
	52	1/2	16,48	132,80	34,11	7,12	1000	0,621
	53	1	4,41	38,54	68,22	7,12	1000	0,360
54	4,41							
55	4,41							
56	4,41							
57	4,41							
58	3/4	12,08	11,87	102,34	7,12	1000	0,166	
59	1	4,41	0,44	51,17	7,12	1000	0,003	
60	1 1/2	142,13	46,00	295,05	7,12	1000	1,859	

Continuación de la tabla XV.

Servicio	61	1/2	24,16	42,00	195,00	7,12	1000	1,122
	62	1/2	12,08	78,00	42,64	7,12	1000	0,456
	63	1/2	16,48	132,80	42,64	7,12	1000	0,776
	64	1/2	12,08	78,00	42,64	7,12	1000	0,456
	65	3/4	24,16	78,00	76,75	7,12	1000	0,820
	66	3/4	12,08	12,00	42,64	7,12	1000	0,070

Fuente: elaboración propia.

La caída de presión en la línea 2:

$$\Delta P_{total} = \Delta p_{principal} + \Delta p_{distribución} + \Delta p_{consumo}$$

$$\Delta P_{total} = 3,18 + 19,37 + 15,11$$

$$\Delta P_{total} = 37,66$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{37,661 * 100}{90} = 41,84 \%$$

Tabla XVI. **Caída de presión en línea 3**

Red		Diámetro	Caudal (Cfm)	Factor de pérdida	Longitud equivalente (Pies)	Factor "R"	Factor de conversión	Δ presión
Principal	Manifold de servicio	1 1/2	246,37	136,27	356,2	7,12	1 000	6,817
Distribución	Línea 15	3/4	70,52	70,40	303,13	7,12	1 000	2,997
	Línea 16	1	132,68	116,75	368,31	7,12	1 000	6,039
Servicio	67	3/4	13,22	14,11	42,64	7,3	1 000	0,254
	68	3/4	13,22	14,11	42,64	7,3	1 000	0,254
	69	3/4	13,22	14,11	42,64	7,3	1 000	0,254
	70	3/4	13,22	14,11	42,64	7,3	1 000	0,254
	71	1/2	8,81	41,70	42,64	7,3	1 000	0,244
	72	1/2	8,81	41,70	42,64	7,3	1 000	0,244

Continuación de la tabla XVI.

Servicio	73	3/4	13,22	14,11	42,64	7,3	1000	0,254
	74	1/2	4,41	11,20	34,112	7,3	1000	0,052
	75	1	8,81	1,80	42,64	7,3	1000	0,010
	76	1 1/4	58,61	17,40	42,64	7,3	1000	0,104
	77	1/2	43,18	924,00	38,376	7,3	1000	4,857
	78	1/2	4,41	11,20	34,112	7,3	1000	0,052
	79	1/2	4,41	11,20	34,112	7,3	1000	0,052
	80	1/2	4,41	11,20	34,112	7,3	1000	0,052
	81	1 1/4	21,18	2,30	42,64	7,3	1000	0,014
	82	3/4	8,81	6,24	42,64	7,3	1000	0,036
	83	3/4	4,41	1,05	42,64	7,3	1000	0,006

Fuente: elaboración propia.

La caída de presión en la línea 3:

$$\Delta P_{total} = \Delta p_{principal} + \Delta p_{distribución} + \Delta p_{consumidores}$$

$$\Delta P_{total} = 6,82 + 9,04 + 7$$

$$\Delta P_{total} = 22.854$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{22,854 * 100}{90} = 25,39 \%$$

Tabla XVII. **Caída de presión en línea 4**

Red	Datos línea	Diámetro	Caudal (Cfm)	Factor de pérdida	Longitud equivalente (Pies)	Factor "R"	Factor de conversión	Δ presión
Principal	Fong's de hilo	4	2768,15	40,28	498	7,12	1 000	2817
Línea de Fong's de tintorería continua								
Distribución	Línea 17	1	50,60	54,6	150,8	7,12	1000	1,156
Servicio	84	3/4	4,41	1,1	19,68	7,12	1000	0,003
	85	3/4	4,41	1,1	19,68	7,12	1000	0,003
	86	3/4	16,48	21,38	19,68	7,12	1000	0,059
	87	3/4	16,48	21,38	19,68	7,12	1000	0,059
	88	3/4	4,41	1,1	19,68	7,12	1000	0,003
	89	3/4	4,41	1,1	19,68	7,12	1000	0,003
Equipos de independientes								
	90	3/4	16,48	86,87	130,052	7,12	1000	1,587
	91		16,48					
	92	1	68,61	102	118	7,12	1000	1,690

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Presión de trabajo por equipo**

N. D	N. V	Equipo	Principal	Distribución	Servicio	Presión de trabajo
1	1	Termosol artos 3	5,00	2,41	0,128	81,905
	2	Rama artos unistar 3	5,00	2,41	0,502	81,531
	3	Cold pad batch 3	5,00	2,41	0,542	81,492
	4	Cold pad batch 4	5,00	2,41	0,632	81,401
	5	Cold pad batch goller 1	5,00	2,41	0,139	81,895
	6	Compactadora ferraro	5,00	2,41	0,097	81,936
	7	Rama torres	5,00	2,41	0,505	81,528
2	8	Rama monforts	5,00	0,31	0,920	83,207
3	9	Rama artos 1	5,00	0,83	0,562	83,046
	10	Rama artos 2	5,00	0,83	0,562	83,046
4	11	Esmeriladora lafer	5,00	2,38	0,819	81,241
	12	Cortadora corduroy 1	5,00	2,38	0,065	81,994

Continuación de la tabla XVIII.

5	13	Afelpadora lamperti 1 y 2	5,00	0,63	0,079	83,732
	14	Afelpadora lamperti 3	5,00	0,63	0,039	83,771
6	15	Airo biancalani	5,00	0,04	0,035	84,366
	16	Tundidora suker 1	5,00	0,04	0,244	84,158
	17	Tundidora vollenwider 2	5,00	0,04	0,360	84,042
7	18	Estampadora rd3	5,00	0,68	0,035	83,727
	19	Estampadora rd4	5,00	0,68	0,047	83,715
8	20	Rama artos 5	5,00	0,01	0,009	84,416
	21	Caldera basuki	5,00	0,01	0,006	84,420
9	22	Termosol monfort 2	5,00	0,75	0,082	83,608
	23	Mercerizadora benninger	5,00	0,75	0,011	83,679
	24	Rama artos 4	5,00	0,75	0,002	83,688
	25	Equipo korting	5,00	0,75	0,033	83,657
10	26	Desengomadora artos	5,00	0,15	1,950	82,338
	27	Blanqueador artos	5,00	0,15	0,376	83,912
	28	Revisadora 1	5,00	0,15	0,052	84,236
11	29	Lavadora menzel	5,00	0,29	0,163	83,988
	30	Revisadora 2	5,00	0,29	0,006	84,144
	31	Revisadora 3	5,00		0,065	84,375
	32	Rama babcock	5,00		0,007	84,433
	33	Estampadora zimmer	5,00		0,182	84,258
12	34	Urdidora benninger sectional 5	3,18	1,63	0,330	84,304
	35	Urdidora benninger sectional 6				
	36	Urdidora benninger 9	3,18	1,63	0,330	84,304
	37	Urdidora benninger 10				
	38	Urdidora benninger sectional 8	3,18	1,63	0,540	84,094
	39	Pad steam goller colora	3,18	1,63	0,033	84,601
40	Lavadora goller	3,18	1,63	3,316	81,317	
13	41	Engomadora zeell benninger 7	3,18	13,55	0,112	72,602
	42	Urdidora benninger sectional 7	3,18	13,55	0,364	72,350
	43	Engomadora suker muller 5	3,18	13,55	0,125	72,590
	44	Engomadora zeell benninger 6	3,18	13,55	0,776	71,939
	45	Revisadora 4	3,18	13,55	0,092	72,623
	46	Desengomadora babcock	3,18	13,55	0,023	72,692
	47	Revisadora 5	3,18	13,55	0,065	72,650
	48	Cold pad batch 1	3,18	13,55	0,479	72,236
	49	Chamuscadora 1	3,18	13,55	1,200	71,515
	50	Chamuscadora 2				
14	51	Bianco 1	3,18	4,19	0,621	81,447

Continuación de la tabla XVIII.

	52	Bianco 2	3,18	4,19	0,621	81,447
	53	Teñidor fongs labwin-6 #5	3,18	4,19	0,360	81,708
	54	Teñidor fongs labwin-6 #1				
	55	Teñidor fongs labwin-6 #2				
	56	Teñidor fongs labwin-6 #3				
	57	Teñidor fongs labwin-6 #4				
	58	Secadora de hilo stalam	3,18	4,19	0,166	81,901
	59	Scholl	3,18	4,19	0,003	82,065
	60	Fongs 5	3,18	4,19	1,859	80,209
	61	Urdidora hacoba	3,18		1,122	85,140
	62	Urdidora benninger 2	3,18		0,456	85,807
	63	Engomadora suker muller 4	3,18		0,776	85,487
	64	Urdidora benninger 12	3,18		0,456	85,807
	65	Urdidora west point	3,18		0,820	85,442
	66	Urdidora benninger 4	3,18		0,070	86,192
15	67	Sanforizadora 1	6,82	3,00	0,254	79,372
	68	Sanforizadora 2	6,82	3,00	0,254	79,372
	69	Sanforizadora 3	6,82	3,00	0,254	79,372
	70	Sanforizadora 4	6,82	3,00	0,254	79,372
	71	Compactadora 1	6,82	3,00	0,244	79,382
	72	Compactadora 2	6,82	3,00	0,244	79,382
16	73	Sanforizadora 5	6,82	6,04	0,254	76,330
	74	Atyc	6,82	6,04	0,052	76,531
	75	Brazzoli	6,82	6,04	0,010	76,573
	76	Then airflow synergy	6,82	6,04	0,104	76,479
	77	Then 2	6,82	6,04	4,857	71,726
	78	Jigger 1	6,82	6,04	0,052	76,531
	79	Jigger 3	6,82	6,04	0,052	76,531
	80	Jigger 4	6,82	6,04	0,052	76,531
	81	Gaston 7	6,82	6,04	0,014	76,569
	82	Teñidor tela mcs grande	6,82	6,04	0,036	76,547
	83	Teñidor tela mcs pequeña	6,82	6,04	0,006	76,577
	84	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #14	2,82	1,16	0,003	85,463
	85	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #15	2,82	1,16	0,003	85,463
	86	Teñidor tela fongs eco 1 2005	2,82	1,16	0,059	85,407
	87	Teñidor tela fongs eco 2 2009	2,82	1,16	0,059	85,407
	88	Teñidor tela fongs mk 3 2000	2,82	1,16	0,003	85,463
	89	Fongs 8	2,82	1,16	0,003	85,463

Continuación de la tabla XVIII.

	90	Engomadora zeell benninger 2			1,587	87,853
	91	Engomadora zeell benninger 3				
	92	Teñidora y engomadora máster			1,690	87.750

Fuente: elaboración propia.

2.5. Capacidad de los compresores que suministran la planta

En la tabla XIX se muestra la capacidad de los compresores que suministran toda la empresa, desde la red de distribución hasta la planta de tintorería y acabados.

Tabla XIX. **Capacidad nominal de los compresores**

No.	TIPO	MARCA	MODELO	ENTREGA DE AIRE (CFM)	POTENCIA NOMINAL (HP)	PRESIÓN
1	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	892	200	125 PSI
2	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	892	200	125 PSI
3	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	892	200	125 PSI
4	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	892	200	125 PSI
5	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	892	200	125 PSI
6	Centrifugo	Ingersoll rand	Turbo air	3 000	700	150 PSI
7	Centrifugo	Ingersoll rand	Centac	6 400	1250	150 PSI
8	Centrifugo	Ingersoll rand	Centac	6 400	1250	150 PSI
Total (cfm)				20 260		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Capacidad actual de los compresores**

Entrega de aire comprimido (cfm)						
Compresores de tornillo						
No.	Tipo	Marca	Modelo	Máximo	Máximo promedio	Entrega promedio
1	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	815	792	681
2	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	772	753	719
3	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	788	652	633
4	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	746	727	649
5	Tornillo	Ingersoll rand	Ep200	860	791	687
Total, cfm en compresores de tornillo				3981	3715	3369
Compresores centrífugos						
No.	Tipo	Marca	Modelo	Máximo	Máximo promedio	Entrega promedio
6	Centrífugo	Ingersoll rand	Turbo air	3000	3000	3000
7	Centrífugo	Ingersoll rand	Centac	6055	5897	5040
8	Centrífugo	Ingersoll rand	Centac	6055	5897	5040
Total, cfm compresores centrífugos				1511	14794	13080
Entrega total (cfm)				19591	18509	16449

Fuente: elaboración propia.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

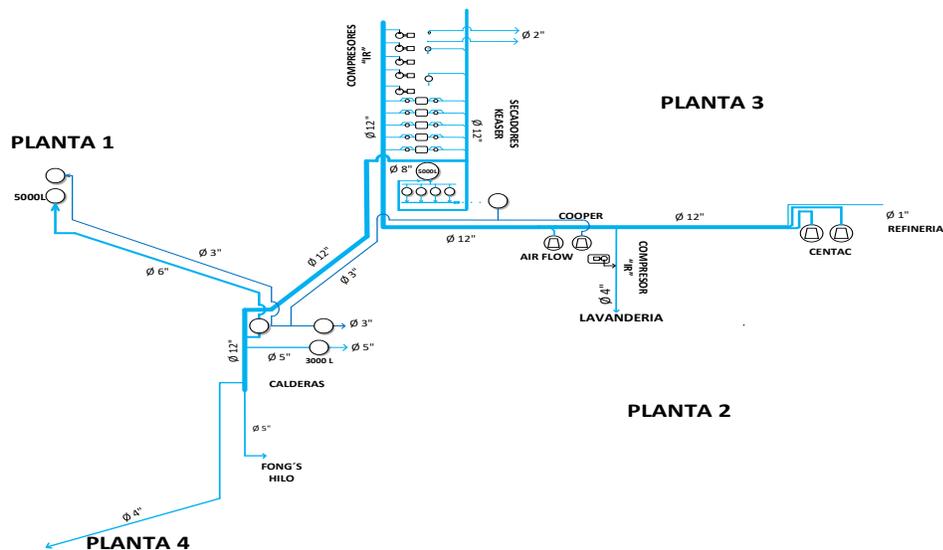
3.1. Planos de la red optimizada

En el presente capítulo se muestra el plano esquemático de la nueva red propuesta de generación y la red de tintorería y acabados, respectivamente.

3.1.1. Red de generación

En la figura 15 se da a conocer la nueva red de generación de aire comprimido propuesta.

Figura 15. Red de generación de aire comprimido

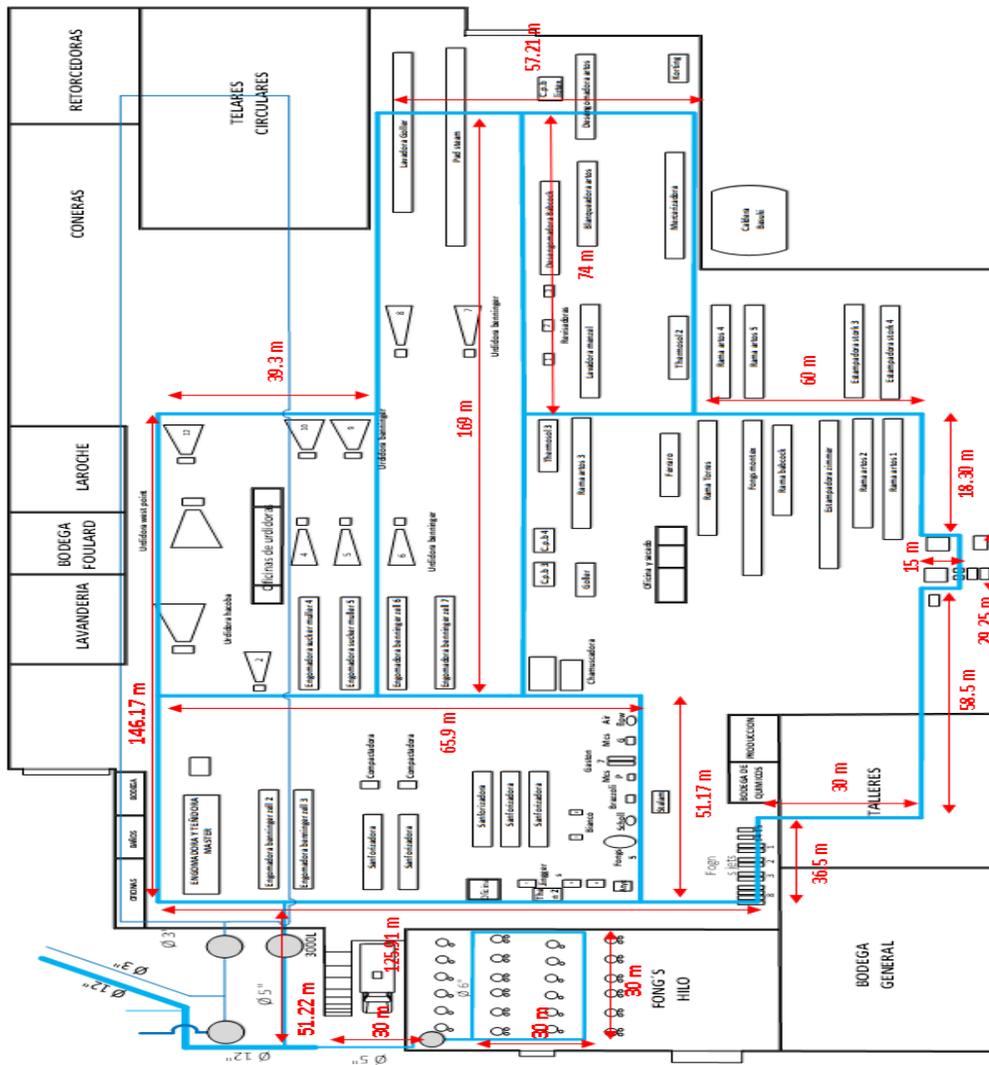


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

3.1.2. Red de tintorería y acabados

En la figura 16 se muestra la red propuesta de tintorería y acabados; se trata de una red de circuito cerrado que mantiene la presión constante.

Figura 16. Red de tintorería y acabados



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

3.2. Cálculo de diámetros para red de aire comprimido

El cálculo de diámetro de la tubería en cada sección de la red es de suma importancia, ya que de este dependerá el porcentaje de pérdida de presión con que va a distribuirse el aire comprimido y la capacidad para futuras expansiones, conservando la menor pérdida de presión en su distribución.

3.2.1. Red de generación

Se estipula que se tiene que tener una caída de presión entre los compresores y los consumidores cuyo valor de presión es menor a 1 bar; por lo tanto se puede seguir con la distribución actual en la cual se tiene una pérdida de presión desde el inicio de la generación hasta el manifold de consumo, donde están conectadas las tuberías principales; la presión oscila en promedio de 13,81 psi para planta 3 y para las plantas 1, 2 y 4, de 15,56 psi; es decir que si se genera una presión promedio de 105 psi en el sistema, en el manifold de planta 3 se tendrá 91,19 psi y en el de las plantas 1,2 y 4, 89,44 psi.

Por lo tanto, si se desea minimizar dicha pérdida con el fin de disminuir la presión de trabajo en los compresores se necesita eliminar la tubería de 4" hacia planta 2 y lavandería, aumentar el diámetro de 8" a 12" en el tramo de la conexión del compresor *turbo air* hasta los secadores y compresores de tornillo; con este cambio disminuiría de 2,92 psi a 0,40 psi, entonces se tendría una caída de presión desde los compresores centac hasta los secadores, de 0,57 psi; mientras que con la distribución actual se pierden 6,29 psi para la distribución a las plantas 1, 2, y 4 se necesita cambiar los 3 tubos de 3" en paralelo por un tubo equivalente de 8", con el que se obtiene una caída de presión de 0,08 psi, mientras que en la configuración actual se pierden 1,5 psi.

Entonces, incluyendo la pérdida de presión en el tratamiento de secado para el manifold principal que alimenta a la planta de tejeduría, tendrá una caída de presión 7,47 psi y para el manifold que alimenta las plantas 1, 2 y 4 correspondería una caída de presión de 7,76 psi; es decir si se trabaja con una presión de 100 psi en los tres compresores centrífugos en la planta 3 de tejeduría, se tendría una presión en el manifold de alimentación de 92,5 psi y en el manifold de las plantas 1, 2 y 4 correspondería una presión de 92,24 psi; entonces se tendría una red de generación con una caída de presión de 8,41 %. Considerando lo anterior y eliminando la entrada a planta 2 de tintorería y acabados y lavandería, se disminuiría la presión de trabajo de 110 psi del compresor centac a 100 psi; eso correspondería un 4,9 % de ahorro energético en ese compresor equivalente a:

$$371,881 \frac{Kwh}{mes} * 4,9 \% = 18\,222,2 \frac{Kwh}{mes}$$

$$18\,222,2 \frac{Kwh}{mes} * 0,10 \frac{\$}{Kwh} = 1822,22 \frac{\$}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = \mathbf{21,867 \frac{\$}{año}}$$

Se tiene una pérdida anual de \$. 21,867 \$ ≈ Q.168 375,9.

Tabla XXI. **Diámetro de la red de generación**

Tramo	Red principal de generación	m^3/s	$Q^{1,85}$	Longitud total (m)	Diámetro (Pulg)	$Diámetro^5$ (m)	Presión (Pa)	Δ presión (Pa)	Δ presión (psi)
1	Compresor Centac	4,760	17,932	82,42	12	0,0026307	790828,6	1136,64	0,1648
2	Air Flow + Centac	6,177	29,037	125	12	0,0026307	790828,6	2791,41	0,4047
3	Compresores de tornillo	1,591	2,361	20	12	0,0026307	790828,6	36,31	0,0053

Continuación de la tabla XXI.

4	Tratamiento del aire comprimido									6.9
5	Alimentación para el manifold de planta 1,2 y 4	4,439	15,758	6	8	8,221E-05	739 324,8	1 600	590,65	0,0856
	Manifold para planta 1,2 y 4	4,439	15,758	110	12	0,0026307	739 324,8	1 600	1 425,98	0,2067

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Red de tintorería y acabados

Como se mencionó anteriormente, en relación con la dimensión del sistema de tuberías se debe tener en cuenta que la base para dichos cálculos ha de ser una caída de presión menor a 1 bar desde la salida de los compresores hasta los consumidores, incluyendo el tratamiento del aire y el sistema de tuberías; debido a esto se toma en consideración que el sistema de tuberías en planta de tintorería y acabados se diseña con una caída de presión de 0,1 bar o 1,5 psi desde el manifold de alimentación hasta los consumidores, dividida de la siguiente manera:

- Tubería principal: 0,03 bar
 - Tubería de distribución 0,04 bar
 - Tubería de servicio: 0,03 bar
- Total: 0,10 bar

3.2.2.1. Tubería principal

La tubería principal que provee a la planta de tintorería y acabados se abastece del manifold de 12" del tramo principal proveniente de la red de generación. Esta tubería se calcula mediante una caída de presión de 3 000 Pascales o 0,03 bar.

Tabla XXII. Longitud de tubería principal

Descripción	Cantidad	Longitud	Longitud equivalente
Tubería recta		51,22	
Codo 90°	5		31,75
Válvula de compuerta	2		2,032
		51,22	33,78
Total longitudes (m)			85 m

Fuente: elaboración propia.

$$d = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 * 0,6385^{185} * 86}{3\,000 * 730\,000}} = 0,12205 \text{ m} \approx 5''$$

Donde:

ΔP : 3 000 (Pa)

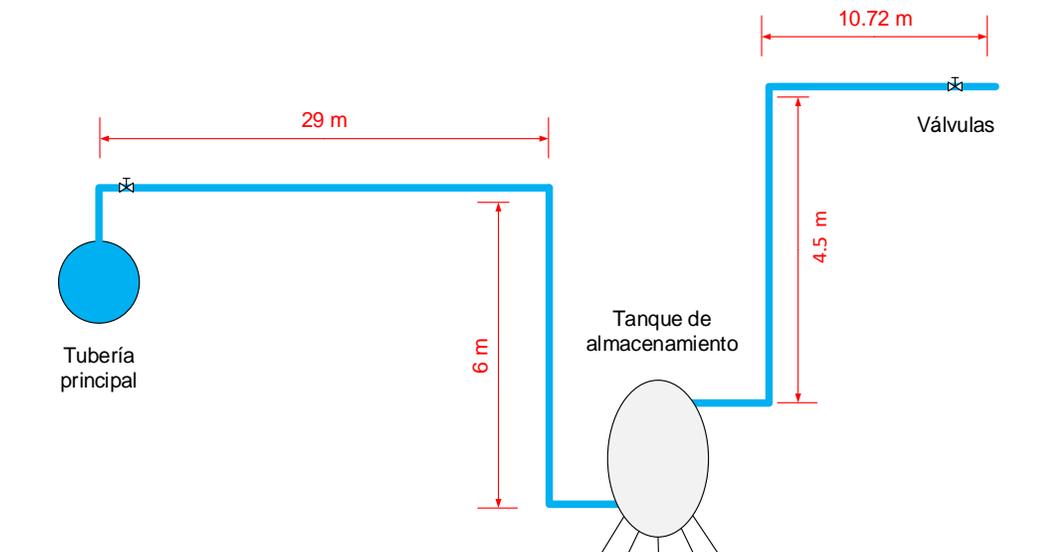
V: 0,63848878 m³/s

L: 85 (m)

Ps: 730 000 (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

Figura 17. **Ubicación de accesorios y tubería principal**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

3.2.2.2. Tubería secundaria

En la tubería secundaria también denominada red de distribución, se calcula el diámetro interior de la tubería para una caída de presión de 4 000 Pascales o 0,4 bar. Esta tubería utiliza 1 191 m de tubería recta; en la figura 16 se detalla el trayecto de su distribución dentro de la planta. Se utiliza un circuito cerrado y entramado para poder llevar el suministro de aire comprimido de forma fiable y eficiente a todos los consumidores, con la ventaja de mantener la presión, el caudal y la velocidad del aire en varios puntos del circuito, debido a que cada una de estas variables se comparten a lo largo de toda la tubería.

Tabla XXIII. Longitud de tubería secundaria

Descripción	Cantidad	Longitud	Longitud equivalente
Tubería recta		1,191	
Tee	8		32,51
Codo 90°	13		132,08
Válvula de compuerta	32		52,02
Totales		1,191	216,61
Total (m)			1 408

Fuente: elaboración propia.

$$d = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 * 0,6385^{185} * 1\,408}{4\,000 * 73\,000}} = 0,20201\,m \approx 8''$$

Donde:

Δp : 4 000 (Pa)

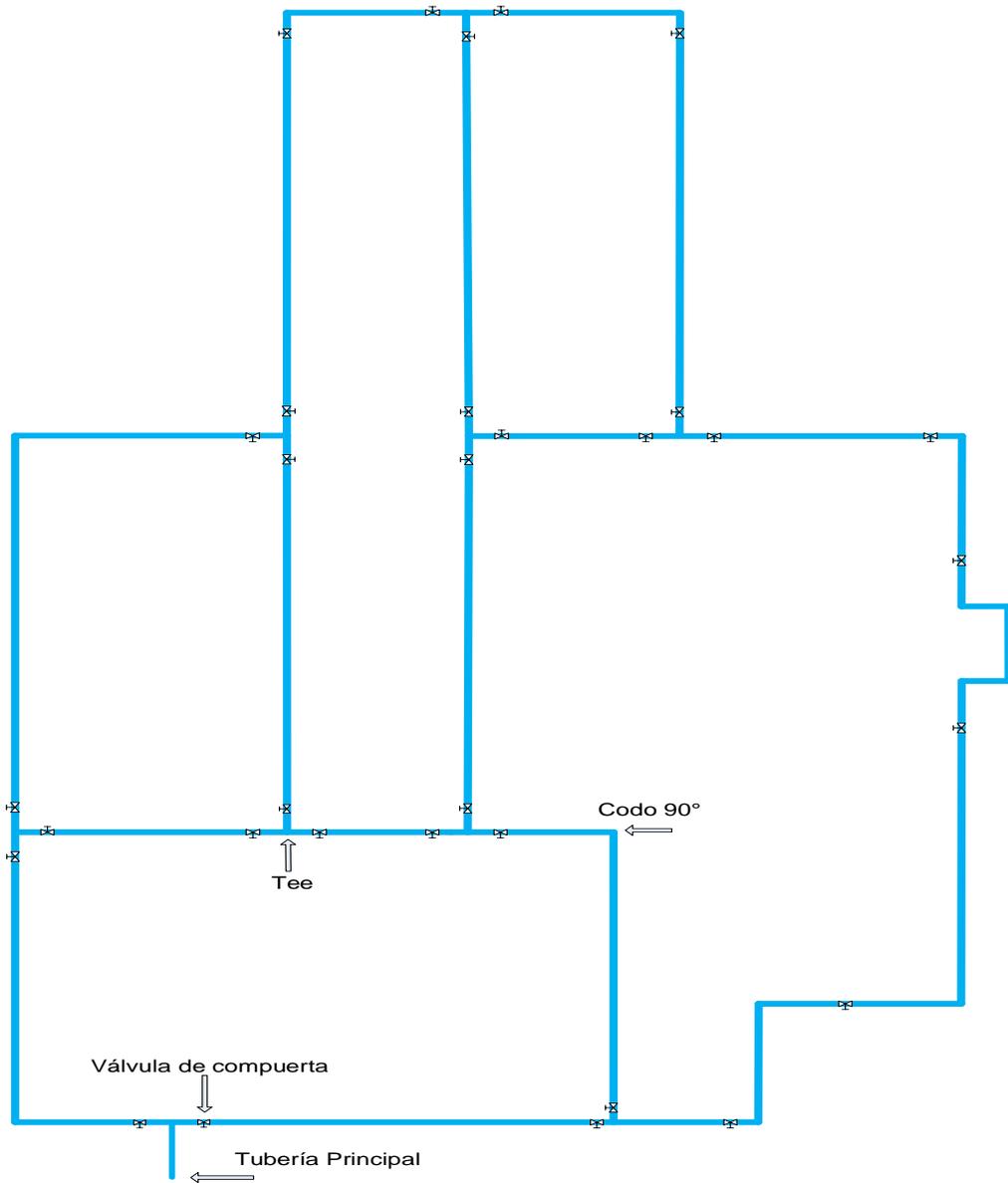
V: 0,6385 m³/s

L: 1 408 (m)

Ps: 730 000 (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

Figura 18. **Ubicación de accesorios en tubería de secundaria**

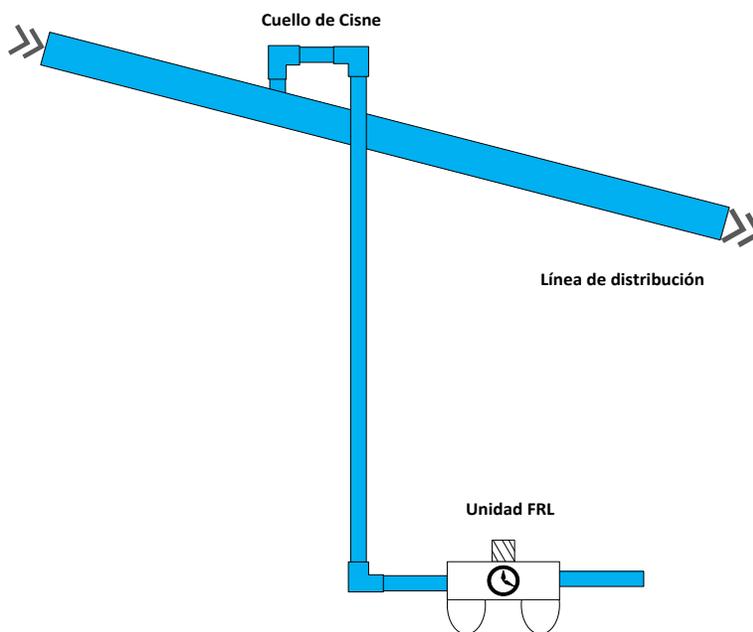


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

3.2.2.3. Tubería de consumo

En la planta cada equipo se necesita un caudal específico, por lo cual se tiene que calcular el diámetro necesario para mantener una caída de presión permisible en todas las tuberías verticales equivalente a 0,03 bares. La derivación hacia las máquinas desde las líneas de distribución se realiza con cuello de cisne por la parte superior del tubo de distribución, mostrado en la figura 19.

Figura 19. Derivación por cuello de cisne



Fuente: elaboración propia, empleando programa Visio.

Para determinar el diámetro se hace mediante la siguiente ecuación, se demuestra el cálculo en la tabla XXI.

$$d = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 * V^{1,85} * L}{\Delta p * P}}$$

Donde:

Δp : caída de presión (Pa)

V: consumo m^3/s

L: longitud total (m)

Ps: presión absoluta del sistema (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

Tabla XXIV. Diámetro de tubería de servicio

Denominación del activo	m^3/s	$m^3/s^{1,85}$	Longitud (m)			ΔP (Pa)	Presión		Diámetro (m)	Diámetro comercial (Pulg)
			H	V	Total					
AFELPADORA LAMPERTI 1 Y 2	0,00208	1,0938E-05	10	4,5	14,5	32,967	730000	1600	0,02538665	1
AFELPADORA LAMPERTI 3	0,00208	1,094E-05	10	4,5	14,5	32,967	730000	1600	0,02538776	1
ESMERILADORA LAFER	0,00779	0,00012558	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,03522998	1 1/2
COMPACTADORA 1	0,00416	3,944E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,0270274	1
COMPACTADORA 2	0,00416	3,944E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,0270274	1
COMPACTADORA FERRARO	0,0057	7,063E-05	14	4,5	18,5	32,967	730000	1600	0,03870573	1 1/2
CORTADORA CORDUROY 1	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
SANFORIZADORA 1	0,00624	8,3505E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03140206	1 1/4
SANFORIZADORA 2	0,00624	8,3505E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03140206	1 1/4
SANFORIZADORA 3	0,00624	8,3505E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03140206	1 1/4
SANFORIZADORA 4	0,00624	8,3505E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03140206	1 1/4
SANFORIZADORA 5	0,00624	8,3505E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03140206	1 1/4
AIRO BIANCALANI	0,00779	0,00012558	15	4,5	19,5	32,967	730000	1600	0,04388708	1 3/4
TUNDIDORA SUKER 1	0,00416	3,944E-05	8,5	4,5	13	32,967	730000	1600	0,03210114	1 1/4
TUNDIDORA VOLLENWIDER 2	0,0057	7,063E-05	4	4,5	8,5	32,967	730000	1600	0,03313025	1 1/2
RAMA ARTOS 1	0,00615	8,129E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03323252	1 1/2
RAMA ARTOS 2	0,00615	8,129E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03323252	1 1/2
RAMA ARTOS UNISTAR 3	0,01141	0,00025462	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,04175748	1 3/4
RAMA ARTOS 4	0,00208	1,094E-05	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,02464522	1
RAMA ARTOS 5	0,00208	1,094E-05	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,02464522	1
RAMA BABCOCK	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
RAMA MONFORTS	0,02952	0,00147839	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,0593627	2 1/2
RAMA TORRES	0,01103	0,00023914	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,04123697	1 3/4

Continuación de la tabla XXIV.

ENGOMADORA Y TEÑIDORA MÁSTER	0,0324	0,00175643	10	4,5	14,5	32,967	730000	1600	0,07010408	2 3/4
ENGOMADORA SUKER MULLER 4	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ENGOMADORA SUKER MULLER 5	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 2	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 3	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 6	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 7	0,00779	0,00012558	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03625283	1 1/2
ESTAMPADORA ZIMMER	0,01841	0,00061735	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,04984965	2
ESTAMPADORA RD3	0,01001	0,00019981	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,04406048	1 3/4
ESTAMPADORA RD4	0,01001	0,00019981	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,04406048	1 3/4
BIANCO 1	0,00779	0,00012558	15	4,5	19,5	32,967	730000	1600	0,04388708	1 3/4
BIANCO 2	0,00779	0,00012558	15	4,5	19,5	32,967	730000	1600	0,04388708	1 3/4
ATYC	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
BRAZZOLI	0,00416	3,944E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02875703	1 1/4
TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #14	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #15	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
TEÑIDOR TELA FONGS ECO 1 2005	0,00779	0,00012558	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03407236	1 1/2
TEÑIDOR TELA FONGS ECO 2 2009	0,00779	0,00012558	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03407236	1 1/2
TEÑIDOR TELA FONGS MK 3 2000	0,00208	1,094E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,02091333	1
FONGS 5	0,06713	0,00675797	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,08910226	3 1/2
FONGS 8	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
GASTON 7	0,01001	0,00019981	4	4,5	8,5	32,967	730000	1600	0,04078975	1 3/4
TEÑIDOR TELA MCS GRANDE	0,00416	3,944E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02794567	1 1/4
TEÑIDOR TELA MCS PEQUEÑA	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
SCHOLL	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
THEN AIRFLOW SYNERGY	0,0256	0,00113563	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,05472341	2 1/2
THEN 2	0,0204	0,00074584	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,05031013	2
JIGGER 1	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
JIGGER 3	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
JIGGER 4	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #5	0,00208	1,094E-05								
TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #1	0,00208	1,094E-05								
TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #2	0,00208	1,094E-05	7,2		7,21	32,967	730000	1600	0,02207688	1
TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #3	0,00208	1,094E-05								
TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #4	0,00208	1,094E-05								
BLANQUEADORA ARTOS	0,03693	0,00223675	12	4,5	16,5	32,967	730000	1600	0,07550293	3
CEPILLADO CORDUROY	0,0057	7,063E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03231121	1 1/4
CHAMUSCADORA 1	0,01841	0,00061735	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,04685138	2
CHAMUSCADORA 2	0,01841	0,00061735	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,04685138	2
DESENGOMADORA ARTOS	0,03693	0,00223675	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,06060934	2 1/2
COLD PAD BATCH 1	0,00208	1,094E-05	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,02380064	1
DESENGOMADORA BABCOCK	0,02842	0,00137803	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,05853388	2 1/2
LAVADORA GOLLER	0,01841	0,00061735	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,04844317	2
LAVADORA MENZEL	0,01131	0,0002505	8	4,5	12,5	32,967	730000	1600	0,04609866	2
MERCERIZADORA BENNINGER	0,01249	0,00030103	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,04196134	1 3/4
EQUIPO KORTING	0,00208	1,094E-05	7	4,5	11,5	32,967	730000	1600	0,02423764	1
REVISADORA 1	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
REVISADORA 2	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1

Continuación de la tabla XXIV.

REVISADORA 3	0,00208	1,094E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,02225169	1
REVISADORA 4	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
REVISADORA 5	0,00208	1,094E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,02162387	1
SECADORA DE HILO STALAM	0,0057	7,063E-05	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,0345604	1 1/2
COLD PAD BATCH 3	0,0057	7,063E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,03139957	1 1/4
COLD PAD BATCH 4	0,0057	7,063E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,03139957	1 1/4
COLD PAD BATCH GOLLER 1	0,0057	7,063E-05	7	4,5	11,5	32,967	730000	1600	0,03519496	1 1/2
CALDERA BASUKI	0,01665	0,00051257	15	4,5	19,5	32,967	730000	1600	0,05814347	2 1/2
PAD STEAM GOLLER COLORA	0,03841	0,00240554	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,06543323	2 1/2
TERMOSOL MONFORT 2	0,00624	8,3505E-05	2	4,5	6,5	32,967	730000	1600	0,03246895	1 1/4
TERMOSOL ARTOS 3	0,01708	0,00053734	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,04848483	2
URDIDORA BENNINGER 2	0,0057	7,063E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03231121	1 1/4
URDIDORA BENNINGER 4	0,0057	7,063E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03036781	1 1/4
URDIDORA BENNINGER 9	0,0057	7,063E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03036781	1 1/4
URDIDORA BENNINGER 10	0,0057	7,063E-05	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,0345604	1 1/2
URDIDORA BENNINGER 12	0,0057	7,063E-05	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,0345604	1 1/2
URDIDORA HACOBA	0,01141	0,00025462	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,04466424	1 3/4
URDIDORA BENNINGER SECTIONAL 5	0,0057	7,063E-05	1	4,5	5,5	32,967	730000	1600	0,03036781	1 1/4
URDIDORA BENNINGER SECTIONAL 6	0,0057	7,063E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03231121	1 1/4
URDIDORA BENNINGER SECTIONAL 7	0,0057	7,063E-05	5	4,5	9,5	32,967	730000	1600	0,0338755	1 1/2
URDIDORA BENNINGER SECTIONAL 8	0,0057	7,063E-05	3	4,5	7,5	32,967	730000	1600	0,03231121	1 1/4
URDIDORA WEST POINT	0,01141	0,00025462	6	4,5	10,5	32,967	730000	1600	0,04466424	1 3/4
URDIDORA 4 Y 5	0,01141	0,00025462	20		20	32,967	730000	1600	0,05080764	2
SANFORIZADORA 3,4 Y 5	0,01874	0,00063749	21		21	32,967	730000	1600	0,06164284	2 1/2

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Diámetros de tintorería de hilo

Se diseña como una red independiente con el fin de reducir el diámetro de la tubería de distribución; al ser una red independiente a tintorería y acabados y a tintorería de hilo; también se diseña con una caída de presión de 0,1 bares.

3.2.3.1. Diámetro de tubería principal

Se calcula para una caída de presión de 0,03 bares.

Tabla XXV. **Accesorios utilizados en red principal en tintorería de hilo**

Descripción	Cantidad	Longitud	Longitud equivalente
Tubería recta		30	
Codo 90°	3		19,05
Válvula de compuerta	2		2,03
Totales		30	21,08
Total de longitudes (m)			51

Fuente: elaboración propia.

$$D = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 * 0,87708^{1,85} * 54}{3\,000 * 730\,000}} = 0,125354 \approx 5''$$

Donde:

ΔP : 3 000 (Pa)

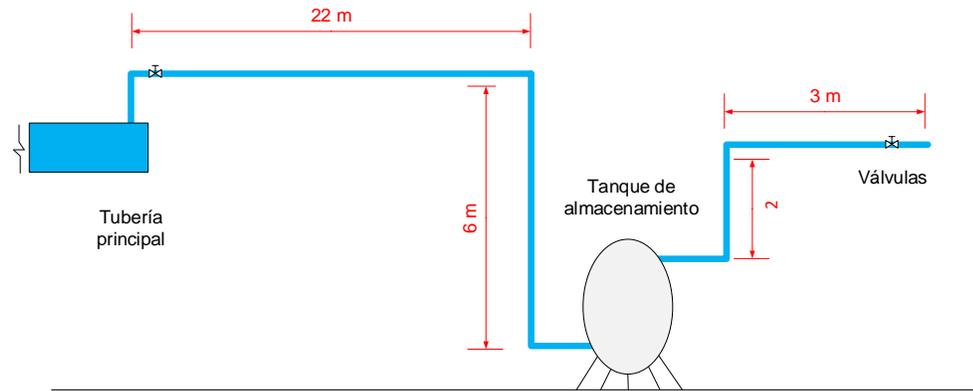
V: 0,87708 (m^3/s)

L: 54 (m)

Ps: 730 000 (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

Figura 20. **Accesorios de la tubería principal en teñido y secado de hilo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.2.3.2. Tubería de red secundaria o distribución en tintorería de hilo

A continuación, se describe el listado de accesorios que deben utilizarse en una red secundaria de tintorería de hilo.

Tabla XXVI. **Accesorios utilizados en la red secundaria en tintorería de hilo**

Descripción	Cantidad	Longitud	Longitud equivalente
Tubería recta		120	
Codo 90°	4		25,4
Válvula de compuerta	5		6,1
Totales		120	31,5
Total (m)			151,5

Fuente: elaboración propia.

$$D = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 * 0,87708^{1,85} * 151,5}{3\ 000 * 730\ 000}} = 0,15408m \approx 6''$$

Donde:

Δp : 3 000 (Pa)

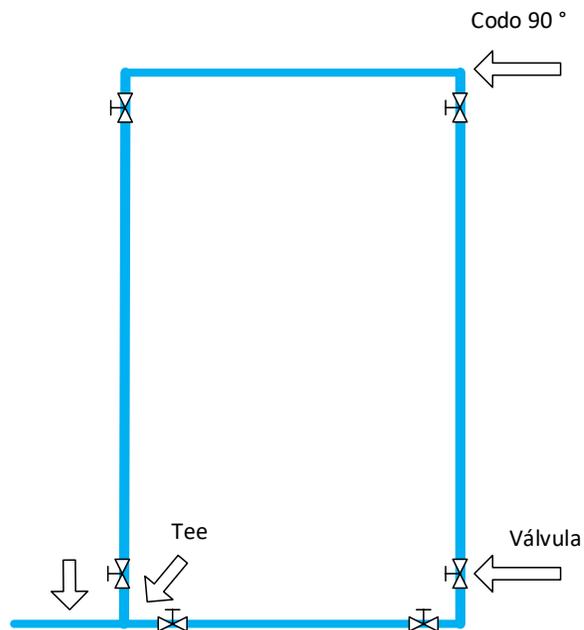
V: 0,87708 m³/s

L: 153 (m)

Ps: 730 000 (Pa)

d: diámetro interior de la tubería (m)

Figura 21. **Accesorios en red secundaria en teñido y secado**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013

3.2.3.3. Diámetros de tubería de servicio en tintorería de hilo

A continuación, se incluyen los datos correspondientes a los diámetros de tubería en servicio.

Tabla XXVII. Diámetros de tubería de servicio en tintorería de hilo

Denominación del activo	m^3/s	$m^3/s^{1.85}$	Longitud	ΔP (Pa)	Presión	Diámetro (m)	Diámetro comercial
Secador fong's 1	0,03686	0,00223002	4,8	173,91	730 000	0,04226718	1 ¾
Secador fong's 2	0,03686	0,00223002	4,8	173,91	730 000	0,04226718	1 ¾
Secador fong's jr 3	0,06755	0,00683645	4,8	173,91	730 000	0,05288195	2
Secador fong's 4	0,02411	0,00101706	4,8	173,91	730 000	0,03612529	1 ½
Secador fong's 5	0,02421	0,00102489	4,8	173,91	730 000	0,03618068	1 ½
Secador fong's 6	0,02511	0,00109651	4,8	173,91	730 000	0,03667282	1 ½
Fong's allwin-226 1400 kg	0,39230	0,17709173	4,8	173,91	730 000	0,10138668	4
Fong's allwin-120 500 kg	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's allwin-105 300kg 1	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's allwin-105 300kg 2	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's allwin-105 300kg 3	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's jr 10	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2
Fong's jr 16	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2
Fong's jr 17	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2
Fong's jr 18	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2
Fong's jr 19	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2
Fong's 20	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's 21	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's 22	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's 23	0,06705	0,00674306	4,8	173,91	730 000	0,05273667	2
Fong's 24	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730 000	0,03401396	1 1/2

Continuación de la tabla XXVII.

Fong's jr 25	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730000	0,03401396	1 1/2
Fong's jr 26	0,02049	0,00075262	4,8	173,91	730000	0,03401396	1 1/2

Fuente: elaboración propia.

3.3. Cálculo de presión de trabajo

Todos los equipos neumáticos de la instalación determinan la presión de trabajo necesaria. Esta no depende solo del compresor sino también del diseño del sistema de aire comprimido y sus tuberías, accesorios y tratamiento de aire comprimido. Cada equipo instalado necesita una presión diferente dentro del mismo sistema. Normalmente el valor de presión más alto es el que determina la presión de la instalación.

Tabla XXVIII. **Presión de trabajo de los compresores**

Descripción	Caída de presión (psi)
Red de generación	0,9
Filtro de polvo	1,45
Secador refrigerativo	2,9
Filtro aceite	1,45
Sistema de tuberías	1,45
Presión de trabajo de los consumidores	90
Presión de trabajo del compresor	98,15

Fuente: elaboración propia.

3.4. Pérdidas monetarias por fugas

En la auditoría realizada a los equipos y la red de generación se calculó la totalidad de $9,17 \text{ m}^3/\text{min}$ especificados en la tabla VIII.

$$9,17 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} * 8\,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 4\,819\,752,00 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$
$$4\,819\,752,00 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * \frac{5,33 \frac{\text{Kw}}{\text{m}^3}}{60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}} * 0,10 \frac{\$}{\text{Kwh}} = 42\,815,5 \frac{\$}{\text{año}}$$

Se tiene una pérdida anual de $\$ 42\,815,5 \approx \text{Q. } 329\,678,946$

3.5. Capacidad de los compresores con la red optimizada

La red de aire comprimido en la empresa Tennat, S. A. es centralizada y abastece las 4 plantas dentro de la empresa.

Si se desea descentralizar se necesitarían los siguientes requerimientos:

$$Q_{\text{compresor}} = \text{Consumo} * 5\% \text{ fugas} * 30\% \text{ futuras expansiones}$$

Para determinar la demanda de aire comprimido se necesita conocer los requerimientos reales de la instalación; para esto se debe multiplicar el consumo nominal por el factor de utilización, proporcionado por el departamento de producción y el factor de concurrencia.

Tabla XXIX. **Demanda real de aire comprimido en tintorería y acabados**

No.	Equipo	Consumo ideal		Factor de utilización	Factor de concurrencia	Consumo real (cfm)
		Litros/s	Cfm			
1	Afelpadora lamperti 1 y 2	2,08	4,41	0,18	0,89	0,706
2	Afelpadora lamperti 3	2,08	4,41	0,05	0,89	0,196
3	Esmeriladora lafer	7,78	16,48	0,32	1,00	5,275
4	Compactadora 1	4,16	8,81	0,17	0,94	1,409
5	Compactadora 2	4,16	8,81	0,11	0,94	0,911
6	Compactadora ferraro	5,7	12,08	0,60	1,00	7,247
7	Cortadora corduroy 1	2,08	4,41	0,10	0,94	0,414
9	Sanforizadora 1	6,24	13,22	0,37	0,83	4,060
10	Sanforizadora 2	6,24	13,22	0,35	0,83	3,841
11	Sanforizadora 3	6,24	13,22	0,54	0,83	5,926
12	Sanforizadora 4	6,24	13,22	0,62	0,83	6,804
13	Sanforizadora 5	6,24	13,22	0,34	0,83	3,731
14	Airo biancalani	7,78	16,48	0,62	1,00	10,221
15	Tundidora suker 1	4,16	8,81	0,07	0,94	0,580
16	Tundidora vollenwider 2	5,7	12,08	0,30	0,94	3,406
17	Rama artos 1	6,15	13,03	0,56	0,86	6,276
18	Rama artos 2	6,15	13,03	0,61	0,86	6,836
19	Rama artos unistar 3	11,4	24,16	0,54	1,00	13,044
20	Rama artos 4	2,08	4,41	0,74	0,86	2,805
21	Rama artos 5	2,08	4,41	0,70	0,86	2,653
22	Rama babcock	2,08	4,41	0,67	1,00	2,953
23	Rama monforts	29,5	62,51	0,67	1,00	41,880
24	Rama torres	11,02	23,35	0,50	1,00	11,675
25	Engomadora y teñidora master	32,38	68,61	0,75	1,00	51,457
26	Engomadora suker muller 4	7,78	16,48	0,90	0,94	13,946
27	Engomadora suker muller 5	7,78	16,48	0,90	0,94	13,946
28	Engomadora zeell benninger 2	7,78	16,48	0,80	0,86	11,342
29	Engomadora zeell benninger 3	7,78	16,48	0,87	0,86	12,334
30	Engomadora zeell benninger 6	7,78	16,48	0,80	0,86	11,342
31	Engomadora zeell benninger 7	7,78	16,48	0,87	0,86	12,334
32	Estampadora zimmer	18,4	38,99	0,38	1,00	14,815
33	Estampadora rd3	10	21,19	0,21	0,94	4,183
34	Estampadora rd4	10	21,19	0,30	0,94	5,975

Continuación de la tabla XXIX.

35	Bianco 1	7,78	16,48	0,23	0,94	3,564
36	Bianco 2	7,78	16,48	0,09	0,94	1,395
37	Atyc	2,08	4,41	0,80	1,00	3,526
38	Brazzoli	4,16	8,81	0,60	1,00	5,289
39	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #14	2,08	4,41	0,50	0,94	2,071
40	Teñidor fongs tela allfit-60 1t #15	2,08	4,41	0,50	0,94	2,071
41	Teñidor tela fongs eco 1 2005	7,78	16,48	0,60	0,94	9,297
42	Teñidor tela fongs eco 2 2009	7,78	16,48	0,64	0,94	9,917
43	Teñidor tela fongs mk 3 2000	2,08	4,41	0,40	1,00	1,763
44	Fongs 5	67,08	142,13	0,80	1,00	113,708
45	Fongs 8	2,08	4,41	0,80	1,00	3,526
46	Gaston 7	10	21,19	0,80	1,00	16,951
47	Teñidor tela mcs grande	4,16	8,81	0,60	1,00	5,289
48	Teñidor tela mcs pequeña	2,08	4,41	0,13	1,00	0,573
49	Scholl	2,08	4,41	0,60	1,00	2,644
50	Then airflow synergy	25,58	54,20	0,60	1,00	32,521
51	Then 2	20,38	43,18	0,70	1,00	30,228
52	Jigger 1	2,08	4,41	0,33	0,89	1,294
53	Jigger 3	2,08	4,41	0,45	0,89	1,765
54	Jigger 4	2,08	4,41	0,46	0,89	1,804
55	Teñidor fong's labwin-6 #5	2,08	4,41	0,60	0,83	2,195
56	Teñidor fong's labwin-6 #1	2,08	4,41	0,70	0,83	2,561
57	Teñidor fong's labwin-6 #2	2,08	4,41	0,60	0,83	2,195
58	Teñidor fong's labwin-6 #3	2,08	4,41	0,65	0,83	2,378
59	Teñidor fong's labwin-6 #4	2,08	4,41	0,67	0,83	2,451
60	Blanqueador artos	36,9	78,19	0,70	1,00	54,731
61	Cepillado corduroy	5,7	12,08	0,22	1,00	2,657
62	Chamuscadora 1	18,4	38,99	0,18	0,94	6,597
63	Chamuscadora 2	18,4	38,99	0,02	0,94	0,806
64	Desengomadora artos	36,9	78,19	0,67	1,00	52,385
65	Cold pad batch 1	2,08	4,41	0,55	1,00	2,424
66	Desengomadora babcock	28,4	60,18	0,50	1,00	30,088
67	Lavadora goller	18,4	38,99	0,66	1,00	25,732
68	Lavadora menzel	11,3	23,94	0,73	1,00	17,479
69	Mercerizadora benninger	12,48	26,44	0,63	1,00	16,659

Continuación de la tabla XXVIII.

70	Equipo korting	2,08	4,41	0,60	1,00	2,644
71	Revisadora 1	2,08	4,41	0,50	0,83	1,829
72	Revisadora 2	2,08	4,41	0,50	0,83	1,829
73	Revisadora 3	2,08	4,41	0,50	0,83	1,829
74	Revisadora 4	2,08	4,41	0,50	0,83	1,829
75	Revisadora 5	2,08	4,41	0,50	0,83	1,829
76	Secadora de hilo stalam	5,7	12,08	0,79	1,00	9,541
77	Cold pad batch 3	5,7	12,08	0,03	0,89	0,322
78	Cold pad batch 4	5,7	12,08	0,18	0,89	1,935
79	Cold pad batch goller 1	5,7	12,08	0,32	0,89	3,440
80	Caldera basuki	16,64	35,26	0,90	1,00	31,732
81	Pad steam goller colora	38,38	81,32	0,80	1,00	65,058
82	Termosol monfort 2	6,24	13,22	0,71	1,00	9,387
83	Termosol artos 3	17,07	36,17	0,47	1,00	17,000
84	Urdidora benninger 2	5,7	12,08	0,80	0,73	7,053
85	Urdidora benninger 4	5,7	12,08	0,70	0,73	6,172
86	Urdidora benninger 9	5,7	12,08	0,80	0,73	7,053
87	Urdidora benninger 10	5,7	12,08	0,80	0,73	7,053
88	Urdidora benninger 12	5,7	12,08	0,90	0,73	7,935
89	Urdidora hacoba	11,4	24,16	0,80	1,00	19,324
90	Urdidora benninger sectional 5	5,7	12,08	0,28	0,73	2,469
91	Urdidora benninger sectional 6	5,7	12,08	0,82	0,73	7,230
92	Urdidora benninger sectional 7	5,7	12,08	0,80	0,73	7,053
93	Urdidora benninger sectional 8	5,7	12,08	0,50	0,73	4,408
94	Urdidora west point	11,4	24,16	0,43	1,00	10,387
TOTAL, TINTORERÍA Y ACABADOS			1769,58			1001,399

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Demanda real de aire comprimido en teñido y secado de hilo**

No.	Equipo	Consumo ideal		Factor de utilización	Factor de concurrencia	Consumo real (cfm)
		Litros/s	Cfm			
1	SECADOR FONGS 1	36,84	78,0596126	0,13	0,94	9,539
2	SECADOR FONGS 2	36,84	78,0596126	0,17	0,94	12,474
3	SECADOR FONGS JR 3	67,50	143,024535	0,23	1	32,896
4	SECADOR FONGS 4	24,10	51,065056	0,2	0,89	9,090
5	SECADOR FONGS 5	24,20	51,2769442	0,27	0,89	12,322
6	SECADOR FONGS 6	25,10	53,183938	0,23	0,89	10,887
7	FONGS ALLWIN-226 1400 Kg	392,00	830,60	0,74	1	614,645
8	FONGS ALLWIN-120 500 Kg	67,00	141,97	0,79	1	112,152
9	FONGS ALLWIN-105 300Kg 1	67,00	141,97	0,74	0,89	93,498
10	FONGS ALLWIN-105 300Kg 2	67,00	141,97	0,74	0,89	93,498
11	FONGS ALLWIN-105 300Kg 3	67,00	141,97	0,72	0,89	90,971
12	FONGS JR 10	20,48	43,39	0,27	0,77	9,022
13	FONGS JR 16	20,48	43,39	0,33	0,77	11,027
14	FONGS JR 17	20,48	43,39	0,49	0,77	16,373
15	FONGS JR 18	20,48	43,39	0,4	0,77	13,366
16	FONGS JR 19	20,48	43,39	0,46	0,77	15,370
17	FONGS 20	67,00	141,97	0,45	0,83	53,024
18	FONGS 21	67,00	141,97	0,26	0,83	30,636
19	FONGS 22	67,00	141,97	0,35	0,83	41,241
20	FONGS 23	67,00	141,97	0,4	0,83	47,132
21	FONGS 24	20,48	43,39	0,29	0,83	10,445
22	FONGS JR 25	20,48	43,39	0,57	0,77	19,046
23	FONGS JR 26	20,48	43,39	0,5	0,77	16,707
TOTAL, TEÑIDO Y SECADO DE HILO			2768,15			1375,360

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Capacidad del compresor para teñido y secado de hilo**

Consumo tintorería	1001,4
Consumo hilo	1375,4

Continuación de la tabla XXXI.

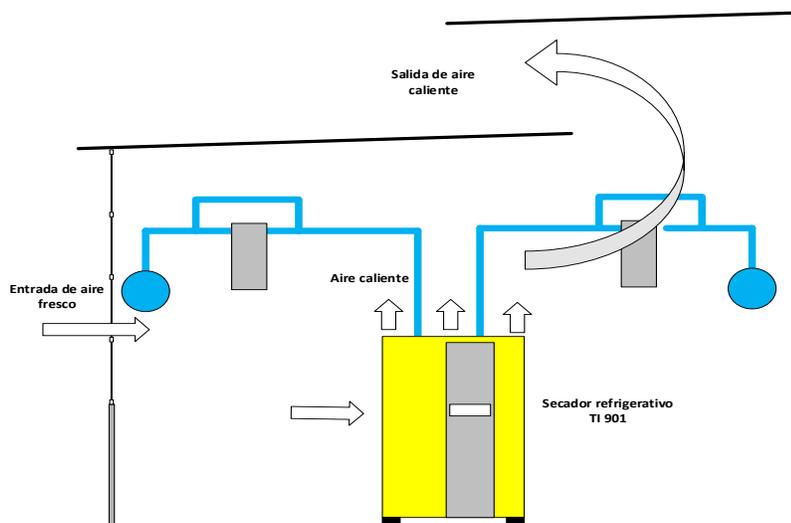
Fugas	5 %
Futuras expansiones	30 %
Capacidad de compresores	3208,95

Fuente: elaboración propia.

3.6. Ventilación en el cuarto de secadores refrigerativos

El cuarto de secadores se mantenía en una temperatura ambiente promedio de 40 °C y los secadores a 45 °C. Se realizaron modificaciones en el techo para extraer el calor mediante ventilación natural; con estas modificaciones se obtiene la disminución de 9 °C en promedio; así se mantiene la temperatura ambiente del recinto a 31 °C, y los secadores trabajando a 38 °C.

Figura 22. Ventilación en el cuarto de los secadores refrigerativos



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Visio 2013.

3.7. Plan de mantenimiento preventivo a las unidades compresoras

El programa de mantenimiento especifica el mantenimiento recomendado para mantener el compresor en buen estado de funcionamiento.

Tabla XXXII. **Plan de mantenimiento preventivo para compresores de tornillo**

Acción	Parte	Horas
Inspección	Nivel de refrigerante	1 semana
Inspección	Temperatura de aire de descarga	1 semana
Inspección	Elemento separador diferencial	1 semana
Inspección	Filtro de aire delta p	1 semana
Inspección	Filtro de aceite delta p	1 semana
Reemplazo	Filtro refrigerante	150
Chequeo	Sensor de temperatura	1 000
Reemplazo	Refrigerante de grado alimenticio cuando se usa	1 000
Inspección	Mangueras	1 200
Reemplazo	Filtro de refrigerante	2 000
Análisis	Refrigerante	2 000
Análisis	Vibración	2 000
Limpieza	Separador de limpieza de pantalla y orificio	4 000
Limpieza	Cooler cores	4 000
Reemplazo	Filtro de aire	4 000
Reemplazo	Elemento separador	Nota especial
Reemplazo	Ultra refrigerante	8 000
Inspección	Contactores de arranque	8 000
Servicio	Lubricación del motor de accionamiento	1 000

Fuente: elaboración propia, con datos extraídos del Manual de instalación y mantenimiento de Ingersol Rand.

3.7.1. Compresores centrífugos

Este plan de mantenimiento preventivo corresponde a los compresores centrífugos marca Ingersoll Rand de la línea Centac, los cuales son la principal fuente de aire comprimido.

3.7.1.1. Controles diarios y a cada arranque

- Controlar y registrar la temperatura de aceite en la entrada del compresor.
- Llevar control y registro de la presión del aceite en la entrada del compresor.
- Revisar y registrar los niveles de vibración de cada etapa.
- Controlar y registrar la presión de aire entre etapas.
- Llevar control y registro de la temperatura de aire entre etapas.
- Controlar y registrar la temperatura de aire de aspiración al compresor.
- Controlar la temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento y llevar un registro de la misma.
- Verificar y controlar el funcionamiento de los descargadores de condensación.
- Controlar que los respiraderos de los refrigeradores funcionen perfectamente. Las válvulas manuales están situadas en la parte superior del armazón.
- Vaciar la eventual condensación presente en los tramos de la tubería de aspiración, de *by-pass* y de envío.
- Vaciar la condensación que se puede haber formado en los tramos horizontales de las tuberías de aire.
- Controlar el nivel de aceite al interior del depósito.
- Controlar que no haya eventuales fugas de aceite en el circuito.

- Verificar que no haya eventuales fugas de agua en el circuito.
- Revisar que no haya eventuales pérdidas en el circuito aire instrumentos.
- Controlar el filtro puesto en la alimentación del aire de control (si lo hay), y eventualmente descargar la eventual condensación presente. Si es necesario, sustituir los elementos filtrantes.
- Controlar el filtro puesto en la alimentación del aire de instrumentos (si lo hay), y eventualmente.
- Descargar la eventual condensación presente. Si es necesario, sustituir los elementos filtrantes.
- Controlar y registrar la presión de alimentación aire instrumentos.
- Revisar el nivel del aceite de lubricación.
- Verificar la presión del aire en las guarniciones.
- Controlar la caída de presión al filtro del aire en entrada.

3.7.1.2. Controles que hay que efectuar cada 60 días

- Controlar la calibración de la válvula de aspiración y de la del *by-pass*.
- Inspeccionar visualmente los elementos del filtro de aspiración y, si es necesario, proceder a su limpieza (para filtros que se pueden limpiar) o sustitución.
- Inspeccionar visualmente el separador de humos del aceite y llenar de aceite el tubo a U, si es necesario. Limpiar el alojamiento del separador y sustituir el elemento.
- Drenar y limpiar el filtro del aire sustituyendo el cartucho; si es necesario inspeccionar las partes internas del filtro del aire, verificando que no haya grietas y que se garantice la retención.

3.7.1.3. Controles que hay que efectuar cada 6 meses

- Inspeccionar visualmente la válvula de no retorno en el envío del compresor.
- Controlar los descargadores de condensación.
- Lubricar la junta de acoplamiento si es necesario.
- Sustituir el cartucho del filtro de aceite. Si no se usa aceite Techtro-Gold esta operación se debe realizar cada 3 meses.

3.7.1.4. Controles que hay que efectuar cada 12 meses

- Inspeccionar el motor eléctrico de arrastre.
- Girar manualmente el engranaje principal del compresor para controlar si se desliza con libertad.
- Inspeccionar y limpiar las rejillas del depósito de aceite.
- Inspeccionar visualmente los tubos del enfriador de aceite.
- Limpiar los tubos del enfriador y el interior del mantel de las incrustaciones, si es necesario.
- Calibrar todos los sensores de los aparatos de seguridad y control.
- Inspeccionar visualmente la válvula de aspiración del compresor.
- Inspeccionar visualmente la válvula de *by-pass* del compresor.
- Si se usa aceite Techtro-Gold, controlar que las características químico-físicas del aceite de lubricación sean las requeridas. Si resulta que son diferentes de las requeridas, proceder a la sustitución del aceite.
- Si se usa aceite mineral, cambiarlo.

3.8. Plan de mantenimiento preventivo a la red

Las acciones preventivas llevadas a cabo a la red de aire comprimido darán como resultado una red hermética, pudiendo tener la menor cantidad de pérdidas por fugas, eliminación de condensados y una red más limpia y eficiente.

3.8.1. Tuberías y accesorios

Dentro del plan de mantenimiento a la red, lo primero que se hará es detectar las fugas y eliminación de condensado.

3.8.1.1. Detección de fugas

Las fugas representan una pérdida en los sistemas de aire comprimido, pero estas regularmente no son detectadas porque a diferencia de las fugas del vapor o algún otro gas tóxico, estas no son peligrosas y por lo tanto no se le da la debida importancia.

El valor permisible en un sistema de aire comprimido es de 5 %; se considera un dato aceptable, por lo que se recomienda realizar una auditoría a las tuberías y unidades neumáticas con pistola ultrasonido para detección de fugas, teniendo en cuenta que arriba del 70 % de las fugas se encuentran en la unidad FRL y el equipo neumático.

3.8.1.2. Limpieza

La limpieza juega un papel muy importante en el mantenimiento de la red de aire comprimido debido a que minimiza las suciedades como el polvo, mota

o lubricantes, los cuales son perjudiciales para el buen funcionamiento del sistema neumático.

3.8.1.2.1. Unidades de mantenimiento

Se necesita efectuar en intervalos regulares los trabajos de conservación siguientes:

- Filtro de aire comprimido: debe examinarse periódicamente el nivel de agua condensada y esta no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control, para que no sea arrastrada por el aire comprimido. Se debe purgar el agua condensada y limpiarse el cartucho filtrante.
- Regulador de presión: verificar periódicamente que no exista ninguna fuga y cuando está precedido de un filtro, no requiere ningún mantenimiento.
- Lubricador: se debe verificar el nivel de aceite en la mirilla y si es necesario suplirlo hasta el nivel permitido. Para lubricadores utilizar únicamente aceites minerales.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Planificación

La fase de docencia se impartió a mecánicos y personal encargado de los compresores; en la misma se incluyeron temas como la importancia del recurso de aire comprimido, eliminación de fugas, correcto diseño e instalación de futuras expansiones.

Debido a la alta demanda de trabajo en el área, se realizó la fase de docencia en dos capacitaciones, en dos turnos diferentes: diurno y nocturno. Las capacitaciones se realizaron con el fin de instruir a todas las personas involucradas respecto del manejo del aire comprimido.

Antes de comenzar la fase de investigación se hizo una evaluación diagnóstica para determinar las debilidades de personal y saber en qué podría enfocarse la capacitación.

Con el resultado de la evaluación se planificaron los temas: importancia del buen manejo del aire comprimido, diseño y correcta instalación, fugas y cuidados a los sistemas neumáticos.

Tabla XXXIII. **Cronograma de actividades en la fase de docencia**

Actividad	Tiempo estimado (min)
Bienvenida	5
Introducción	15
Importancia del buen manejo del aire comprimido	15
Diseño y correcta instalación en futuras expansiones	15
Importancia de eliminar fugas	15
Cuidados al sistema neumático	15
Agradecimientos y despedida	5

Fuente: elaboración propia.

4.2. Introducción

En esta sección se comparte la idea básica de lo que es el aire comprimido, su función e importancia dentro de los procesos utilizados en producción, qué son y cómo funcionan los compresores, unidades de mantenimiento e importancia de cada elemento de la red instalada; además se dejó un tiempo prudente para resolución de dudas.

4.3. Importancia del buen manejo del aire comprimido

Se inició dando énfasis respecto del aire comprimido, describiéndolo como uno de los medios de energía más utilizados en la industria, y rompiendo el paradigma que muchas personas tienen en relación con que el aire

comprimido es gratis; pero esto no es así; si bien es cierto el aire comprimido no es más que aire ambiente que pasa por una máquina llamada compresor para que esta realice un trabajo, pero para que esto ocurra se debe utilizar energía, comúnmente la eléctrica o combustibles fósiles; esto implica un gasto al generar aire comprimido; dependiendo del mantenimiento que el compresor reciba, podrá consumir menos energía y comprimir más aire minimizando el costo.

El saber utilizar de manera correcta el aire comprimido ayudará a la empresa a reducir costos de operación, minimizando su uso irresponsable, evitando que se utilice para limpiar el suelo, limpiar prendas de vestir, no cerrando llaves de paso y no liberando periódicamente el condensado; esto se ve reflejado en los costos de generación de aire comprimido.

4.4. Diseño y correcta instalación de futuras expansiones

Para poder realizar un buen diseño e instalación de futuras expansiones a la red se explicaron las causas por las cuales ocurre la pérdida de presión en la tubería; con estos conceptos se detalla y enfatiza el manejo de los manuales del fabricante de los equipos que se van a adquirir con tubería en diseño, con la finalidad de conocer el caudal teórico o nominal.

Al mismo tiempo se enfatizó en la dimensión de la tubería a instalar con el fin de que se comprenda que los accesorios añaden tramos de tubería recta y con esto la presión disminuye y aumenta el costo de instalación; además se comentó sobre la importancia de hacer circuitos cerrados en la instalación, con el fin de mantener la presión y las derivaciones en cuello de ganso para evitar el condensado en los puntos de consumo.

Por último, en esta sección se explicó cómo se utilizan las ecuaciones para dimensionar una tubería, las cuales están descritas en el primer capítulo de este trabajo de graduación, en la parte correspondiente a los cálculos de la longitud de tubería y caída de presión.

4.5. Importancia de eliminar fugas

Tener fugas tanto en la red de distribución como en las herramientas o cualquier lugar de la tubería genera un costo innecesario, debido a que el aire comprimido no es gratis. Con la capacitación se logró concientizar a los encargados, que se haga un uso correcto y reparaciones herméticas con el fin de minimizar fugas en la red y en los equipos neumáticos utilizados en las máquinas. Con esto se aspira, además, realizar adecuados trabajos de mantenimiento. Es conveniente efectuar recorridos semanal o mensualmente, con el fin de detectar fugas en la red de distribución para darle el mantenimiento necesario y evitar que la fuga crezca y genere problemas más grandes.

En este trabajo de graduación se ratificó que las pérdidas monetarias ocasionadas por fugas en la red son bastante significativas, como se muestra en la sección 2.2, en donde se identifican las fugas; y en la sección 3.4 donde se muestra el costo de las fugas encontradas; la capacitación podrá ayudar a que los encargados realicen su trabajo con mayor eficiencia.

4.6. Cuidados del sistema neumático

Como punto principal de los cuidados del sistema neumático se hizo énfasis en la eliminación del condensado, lubricación, cuidado de los acoples rápidos y suciedad.

Con la eliminación de condensado y lubricación, la capacitación se enfoca en la unidad F.R.L. la cual se tiene que estar monitoreando de manera habitual durante un periodo de tiempo considerable, con el fin de mantener los niveles, tanto de lubricante como de condensado.

En los acoples rápidos se hizo la recomendación a los mecánicos, respecto de que al momento de realizar un mantenimiento, que los mismos se dejen nuevamente bien colocados, para evitar fugas y no afectar los sistemas.

En cuanto a la suciedad se resalta esta situación con el fin de eliminar acumulaciones de mota proveniente de la tela, además de polvo y partículas de hollín que se encuentran en el ambiente, para evitar que los cilindros y válvulas neumáticas se dañen.

CONCLUSIONES

1. La red de generación de aire comprimido tiene 14,71 % de caída de presión, lo que provoca un aumento de 10 psi a compresor Centac; mientras que en planta de tintorería y acabados tiene más de 24 tuberías y 229 accesorios, lo cual suma 3 966 m de longitud total; esto provoca que se tenga 25,29 %, 41,84 %, 25,39 % y 2,85 %, de caída de presión en cada una de las cuatro tuberías principales que conforman la red de aire comprimido en la planta de tintorería y acabados; adicional a esto se tiene un $9,17 \text{ m}^3/\text{min}$ en fugas.
2. Con el rediseño propuesto para la red de generación se tiene 8,41 % de caída de presión; se optimiza en 6,3 % la red; además se minimiza la presión de trabajo de un compresor en 10 psi obteniendo un ahorro energético de 4,9 % equivalente a 18,222 KWh/mes; en tintorería y acabados se diseñó una única tubería de distribución para toda la planta en la cual se mantendrá caída de presión de 0,1 bar, equivalente a 1,55 % de caída de presión, con lo que se garantiza la entrega del caudal y la presión óptimas de trabajo para cada equipo; adicional a esto se trabajó con el equipo de mantenimiento para solucionar las fugas $9,17 \text{ m}^3 < 7 \text{ min}$, equivalente a 35 680 KWh/mes.
3. Se capacitó a los mecánicos y encargados del sistema de aire comprimido respecto de conceptos fundamentales en el tema de aire comprimido, como la importancia de su buen manejo y diseño e instalación de futuras expansiones; se enfatizó en la importancia de eliminar fugas y el costo económico que estas tienen para la empresa, y

por último, se hizo un análisis a los cuidados de los sistemas neumático utilizados dentro de la planta. Con esta capacitación se espera minimizar el costo económico que producen las fugas y el condensado en el sistema, y mejorar los cuidados del sistema neumático, para tener un crecimiento ordenado de la red acorde a las necesidades futuras.

RECOMENDACIONES

Al jefe de mecánicos:

1. Capacitar al personal para utilizar el ultrasonido con la finalidad de detectar fugas; con esto garantiza la hermeticidad del sistema y disminuye el costo adicional de operación producido por el desperdicio energético, al dejar que el aire se escape a la atmósfera sin generar ningún trabajo.
2. Establecer un programa de mantenimiento preventivo a los compresores centrífugos y de tornillo y dar seguimiento con el fin de mantener en óptimas condiciones de trabajo los compresores, y de esta manera mejorar su eficiencia y disminuir paros inesperados.
3. Colocar medidores de caudal a las entradas de cada planta con el fin de determinar el consumo real, tener opciones de mejora y analizar la demanda.
4. Eliminar los purgadores manuales y abiertos al ambiente en la red de generación, debido a que estos tienen una pérdida constante en flujo y presión, generando desperdicios energéticos; se deben colocar purgadores electrónicos de descarga automática con el fin de cumplir con la función de eliminar el condensado generado y mantener el sistema hermético sin pérdidas considerables.
5. Por futuros requerimientos de transporte pesado y debido a la corrosión en los tubos es recomendable desenterrar la tubería y ubicarla en la

dirección más corta dentro de un canal rectangular de cemento con rejilla bajo el nivel de suelo, elevación e inclinación para el paso del agua pluvial, con la finalidad de tener visible la tubería y de esta manera brindarle mantenimiento preventivo, evitando la corrosión y detectando fugas.

Al supervisor de mecánicos:

6. Al trabajar los compresores de tonillo hacerlo en conexión cascada, es decir: la presión de trabajo del compresor 1 menor a la del compresor 2 y la del 2 menor que la del 3 y así sucesivamente, con la finalidad de maximizar su descarga de caudal y estabilizar su presión de trabajo.
7. Trabajar con la misma presión de trabajo los tres compresores centrífugos; de esta manera se maximiza la descarga de su caudal, se estabiliza la modulación de presión de trabajo y se mantiene una presión constante, evitando desperdicios energéticos al tener el compresor trabajando a presiones más elevadas de lo necesario.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER ROYO, Enrique. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A., 1977. 292 p.
2. Atlas Copco., *Manual de aire comprimido 2011, 7a. ed.*, Bélgica: Atlas Copco Airpower NV 2011. 82 p.
3. Kaeser Compresores. *Técnica de aire comprimido: fundamentos y consejos prácticos*. Chile: 2010. 122 p.
4. Ingersoll Rand. *Manual de operación e instrucciones para compresores 150-200 Hp, Form: APDD 738B*. Italia: 2002. 58 p.
5. _____. *Manual de funcionamiento y mantenimiento para modelos "Centac"*. Italia: 2002. 154 p.
6. RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramienta neumática en la empresa Turboservicios de C.A. S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 105 p.

ANEXOS

Anexo 1. Turbinas de la planta Tennat S. A.



Fuente: Instalaciones de Tennat, S. A. Ubicación de las turbinas Centac.



Fuente: Instalaciones de Tennat, S. A. Turbina *Turbo Air*.

Anexo 2. Área de tratamiento de aire comprimido



Fuente: Instalaciones de Tennat, S. A. Área de tratamiento del aire comprimido.



Fuente: Instalaciones de Tennat, S. A. Área de tanques de almacenamiento de aire comprimido de 5 000 litros.