



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN
TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**

Mario Alfredo Gutierrez Pérez

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN
TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ALFREDO GUTIERREZ PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
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:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de octubre de 2014.

Mario Alfredo Gutierrez Pérez



Guatemala, 12 de agosto de 2015
REF.EPS.DOC.531.08.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mario Alfredo Gutierrez Pérez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200516347, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**.

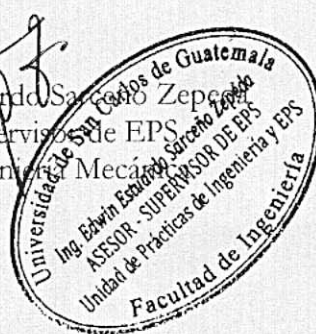
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sánchez Zepe
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 12 de agosto de 2015
REF.EPS.D.398.08.15

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Mario Alfredo Gutierrez Pérez** 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. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

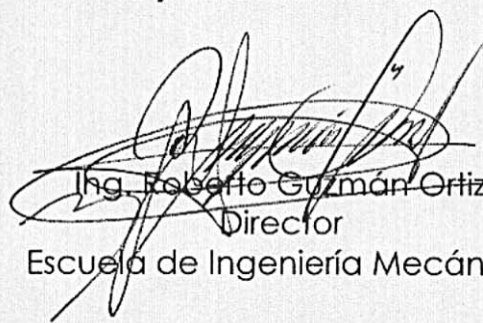
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.343.2015

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: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**, del Estudiante **Mario Alfredo Gutierrez Pérez** Carné No. **2005-16347** procede a la autorización del mismo para su revisión.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2015

/oej



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

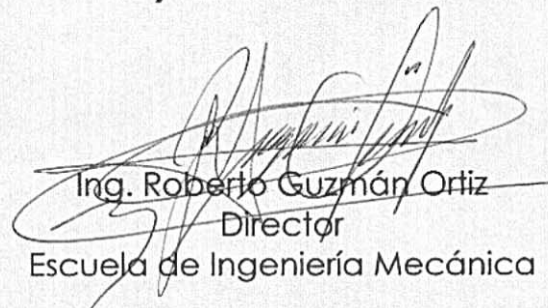
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.156.2016

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: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS** del estudiante **Mario Alfredo Gutierrez Pérez** carné No. **2005-16347** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



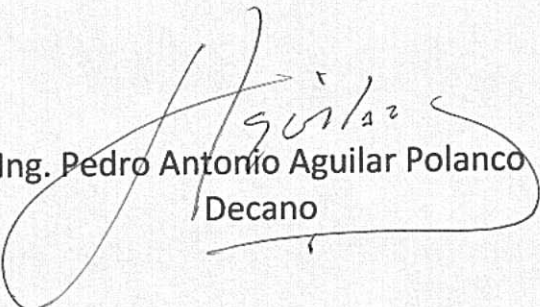
Guatemala abril de 2016

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TALLER AUTOMOTRIZ GP REVOLUTIONS**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Alfredo Gutierrez Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios todopoderoso

Porque sin Él no soy nada, por la inmensa misericordia en mi vida y la bendición de la familia que poseo.

Mi madre

Amalia Zoila Pérez Chávez, por darme lo mejor de su vida, su amor, su comprensión, por haberme corregido a su debido tiempo y hacer de mí un hombre trabajador y temeroso de Dios.

Mis hermanos

Adolfo, Rocío y Cindy Gutiérrez, por el apoyo que me han brindado y me seguirán dando, por los buenos y no tan buenos momentos que nos ha permitido ser más unidos y, que sin lugar a dudas, seguiremos adelante.

Tíos, tías, primos y primas

Porque ustedes son piezas clave de este logro, brindándonos oportunidades que solos, no hubiéramos encontrado.

Amigas y amigos

Por ser mi otra familia, por haberme exigido cuando tenía que dar más, por haberme levantado cuando caí, por ser mi alegría y compañía.

**Mis hermanos
espirituales**

Por ser los ángeles que Dios puso en mi vida,
para darme luz y ser los guías de mi camino.

AGRADECIMIENTOS A:

**Jehová, Rey de los
Ejércitos**

Por haberme dado la vida, la familia, los amigos, la inteligencia, los recursos y la bendición de llegar a esta etapa de mi vida.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haberme recibido en esta casa de estudios, la cual despertó en mí, deseos de conocimiento y la consciencia de hacer una mejor Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Por haberme transmitido ese cúmulo de conocimientos, haber conocido gente extraordinaria dentro y fuera de los salones, por ayudarme a formar el carácter que hoy poseo.

Familia y amigos

Por haberme brindado el apoyo incondicional, los regaños y consejos brindados, y no dejarme caer cuando no tenía fuerzas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.1.1. Ubicación.....	3
1.1.2. Historia.....	4
1.1.3. Misión.....	4
1.1.4. Visión.....	5
1.1.5. Valores.....	5
1.1.6. Organigrama.....	5
1.2. Descripción del problema.....	6
2. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	7
2.1. Ahorro energético.....	7
2.1.1. Corrección de fugas.....	8
2.1.2. Ajustes de la presión de succión y descarga.....	10
2.1.3. Limpieza de filtros y tuberías.....	13
2.1.3.1. Tubería de aire comprimido.....	15
2.1.4. Reducción de pérdidas en el sistema.....	16

2.1.5.	Disminuir las pérdidas de carga utilizando diámetros adecuados de tubería	18
2.1.6.	Utilización de tanques de almacenamiento con criterio de eficiencia energética.....	19
2.2.	Cálculo de cargas por equipos	19
2.2.1.	Pistolas de impacto.....	21
2.2.2.	Ratchet neumático	22
2.2.3.	Pistola tipo soplete.....	22
2.2.4.	Puentes elevadores de vehículos	23
2.2.5.	Máquina para pinchazo.....	23
2.3.	Diseño de líneas de distribución	24
2.3.1.	Red cerrada.....	25
2.3.2.	Red abierta	27
2.4.	Cálculo de pérdidas.....	30
2.4.1.	Pérdidas por accesorios	32
2.4.2.	Pérdidas por material de tubería	33
2.4.3.	Pérdidas de carga por rozamiento en tuberías.....	35
2.4.3.1.	Ecuación general de Darcy-Weisbach	35
2.4.3.2.	Rugosidad absoluta y rugosidad relativa.....	37
2.4.3.3.	Diferentes expresiones de las pérdidas de carga continuas.....	38
2.4.3.4.	Velocidad de fricción y número de Reynolds de la rugosidad	39
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	41
3.1.	Selección del circuito de línea de aire a utilizar	41
3.2.	Planos.....	43

3.3.	Selección de equipo a utilizar	46
3.4.	Cálculo del compresor	47
3.4.1.	Cálculo de caudal y presión	49
3.4.2.	Caudal.....	49
3.4.2.1.	Presión	50
3.4.3.	Cálculo de diámetro de la tubería.....	50
3.5.	Potencia y caudal del compresor	57
4.	FASE DE DOCENCIA	59
4.1.	Plan de capacitación de personal	59
4.1.1.	Definir plan de capacitación	60
4.1.2.	Interpretación del concepto del plan de capacitación	61
4.1.3.	Descripción del proceso de elaboración del plan de capacitación	61
4.1.4.	Proceso de elaboración del plan de capacitación...62	
4.1.5.	Determinación de necesidades de capacitación.....64	
4.1.6.	Programación y desarrollo de la capacitación	65
4.2.	Capacitación en sistemas de aire comprimido	67
4.3.	Estructura de la capacitación en sistemas de aire comprimido	67
4.3.1.	Metodología	67
4.3.2.	Intensidad de tiempo	67
4.3.3.	Evaluación de personal	68
4.4.	Plan de capacitación del personal para taller automotriz GP Revolutions (sistemas de aire comprimido).....	68
4.4.1.	Objetivo estratégico.....	68
4.4.2.	Objetivo general	68
4.4.3.	Temario	68

4.4.4. Agenda	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75
APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa	5
2.	Red cerrada.....	27
3.	Red abierta.....	28
4.	Ecuación general de Darcy-Weisbach	36
5.	Propuesta de red a implementar.....	42
6.	Sistema de aire comprimido	43
7.	Plano de compresor	44
8.	Plano de línea de servicio.....	45
9.	Diagrama de tipos de compresores	48
10.	Plan de capacitación	66

TABLAS

I.	Especificaciones técnicas de pistola neumática	22
II.	Especificaciones técnicas de ratchet neumático.....	22
III.	Especificaciones técnicas de pistola tipo soplete	23
IV.	Especificaciones técnicas de máquina desarmadora de llantas	23
V.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería tabulado como longitud equivalente de tubo recto en pies	32
VI.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería	34
VII.	Caudal.....	49
VIII.	Caudal máximo	49

IX.	Línea principal con diámetro de 1 ¼"	50
X.	Línea de servicio con diámetro de 1"	51
XI.	Línea principal con diámetro de 1"	52
XII.	Línea de servicio con diámetro de ¾ "	53
XIII.	Línea principal con diámetro de ¾"	54
XIV.	Línea de servicio con diámetro de ½"	54
XV.	Línea principal con diámetro de ½"	55
XVI.	Línea de servicio con diámetro de ½"	56
XVII.	Comparación de red de tuberías.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hp	Caballos de fuerza
Q	Caudal
Dim.	Dimensión
F	Factor de pérdida
R	Factor de tubería
Psi	Libras sobre pulgada al cuadrado
Long.	Longitud
Long. equi.	Longitud equivalente
Mant.	Mantenimiento
%	Porcentaje
P	Presión
Cfm	Pies cúbicos por minuto
Plg	Pulgadas

GLOSARIO

Cabezal	Cilindros que inyectan aire comprimido al tanque de almacenamiento de un compresor.
Carga	Resistencia mecánica que tiene que vencer toda maquinaria cuando está sometida a esfuerzos.
CEO	Suele usarse indistintamente para hacer referencia a la persona encargada de máxima autoridad de la llamada gestión y a la dirección administrativa en una organización o institución.
CFM	Pies cúbicos por minuto.
Diagnóstico computarizado	Inspección de maquinaria por medio de instrumentos o herramienta electrónica gobernada por software de computadora.
Inyección electrónica	Sistema de alimentación de combustible, para motores diesel y gasolina, controlado por elementos electrónicos.

Mantenimiento correctivo	Aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos, corregirlos o repararlos.
Mantenimiento predictivo	Serie de acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de prevenir fallas y defectos de maquinaria para evitar que estas se manifiesten durante la operación, evitando paros de emergencia y tiempos muertos, causando impacto financiero negativo.
Mantenimiento preventivo	Destinado a la conservación de equipos instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento.
Neumática	Tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.
Pérdida	Carencia o privación de lo que se poseía, en este caso es de energía y aire.
PSI	Libras sobre pulgada al cuadrado.
Ratchet	Herramienta que se utiliza para apretar y aflojar tuercas y tornillos.

Succión

Extracción o absorción por otro medio.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está descrito en cuatro fases para un mejor entendimiento. La fase I describe la empresa donde se implementa el sistema de aire comprimido, esto permite conocer quiénes son, qué hacen, sus valores, virtudes y problemática, ya que conocer la empresa crea un vínculo el cual permitirá solventar la necesidad de aire comprimido.

La fase II propone a la empresa técnicas de ahorro energético, esta fase de investigación identifica pequeños detalles que a largo plazo producen alto consumo y que puede ser fácil su corrección.

La fase III realiza los cálculos del servicio técnico profesional, de la demanda de aire a utilizar, cargas, diseño de la red de distribución, diámetro de la tubería y caudal del compresor.

La fase IV expone la importancia de capacitar y evaluar adecuadamente al personal, para el manejo y mantenimiento del sistema de aire comprimido, herramienta neumática, las precauciones con las líneas de aire principales, de servicio y líneas flexibles; además, la propuesta de un plan de capacitación.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un sistema de aire comprimido en el taller automotriz GP Revolutions.

Específicos

1. Determinar la demanda de aire.
2. Diseñar la red de distribución del aire que se utilizará en el sistema.
3. Calcular la potencia del compresor que se utilizará.
4. Instalar el compresor, las líneas de distribución de aire comprimido, trampas de agua, conexiones rápidas y mangueras de servicio.
5. Probar la presión de aire del sistema a media y plena carga.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido siempre ha sido importante en la industria como fuente de energía, se utiliza en múltiples operaciones para diferentes sectores como: textiles, calzado, agroalimentaria, farmacéutica y talleres mecánicos, siendo este último sector, en el cual se centrará la atención del presente trabajo de graduación.

Existe una amplia gama de herramientas neumáticas que van desde pistolas de impacto hasta puentes elevadores de vehículos, esta gama exige una diferente demanda de aire comprimido, y por lo tanto existe la necesidad de un diseño adecuado para su perfecto funcionamiento.

Es aquí donde el conocimiento del ingeniero mecánico es de suma importancia, pues este diseña, calcula, elige y adecúa los diferentes tipos y diámetros de tubería, accesorios y potencia de los compresores.

El proyecto consiste en implementar un eficiente sistema de aire comprimido para uso automotriz, el cual inicialmente abastecerá aire a herramientas como pistolas de impacto, ratchet neumático y un área específica que se utilizará para limpieza con aire comprimido (sopletear) y abastecimiento para armar, desarmar, inflar y calibrar neumáticos. En esta etapa se calcula la demanda de aire por el tipo de herramienta utilizada.

El diseño estará analizado, para que en otra etapa se pueda instalar equipos con mayor demanda de aire. Por ejemplo: una máquina para pinchazo

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

GP Revolutions es una empresa relativamente nueva, dedicada al servicio automotriz, prestando servicios de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, mecánica general, sistemas auxiliares de los vehículos, inyección electrónica, diagnóstico computarizado y venta de repuestos.

El servicio automotriz que brinda la empresa se especializa en: diagnóstico, reparación y verificación de averías y anomalías de funcionamiento de los distintos conjuntos, mecanismos y elementos auxiliares del equipo, así como brindar el mantenimiento apropiado, en cada caso, en condiciones idóneas en cuanto a calidad y seguridad, interpretación de los documentos técnicos, solicitud y recepción de pedidos, y verificación de existencias.

La actividad de este sector se define como:

- Control y gestión de los *stocks* de los productos.
- Diagnóstico, reparación y verificación de los motores de gasolina y diésel.
- Diagnóstico, reparación y verificación de los sistemas de encendido (eléctricos y electrónicos), de alimentación, carburación y los sistemas de inyección diésel y gasolina.
- Diagnóstico, reparación y verificación el embrague, las cajas de cambio y las transmisiones.

- Diagnóstico, reparación y verificación de los sistemas de dirección, de frenos, de suspensión y de seguridad pasiva.
- Diagnóstico, reparación y verificación del sistema de aire acondicionado y de climatización.
- Control de la calidad de las reparaciones.

Dentro de la rama de actividad que se tiene prevista de carrocería y pintura. Los servicios que se cubrirán en este tipo de negocio comprende la siguiente forma:

Diagnóstico, reparación, sustitución y puesta a punto de las zonas afectadas de la carrocería de un vehículo, utilizando los medios y los materiales idóneos, garantizando la conformidad del aspecto, la funcionalidad, los ruidos y la estanqueidad. Así como gestionar las piezas de recambio y los materiales de su actividad y establecer los diferentes controles de calidad.

Para ello se desarrollarán las siguientes actividades:

- Control y gestión de los *stocks* de productos.
- Manejar y poner en servicio los equipos y las máquinas para la reparación y la pintura de las carrocerías de los vehículos.
- Desmontaje, reparación y verificación de los órganos móviles de la carrocería.
- Reparación y verificación de los órganos fijos de la carrocería.
- Comprobación, reparación y verificación de la geometría del chasis del vehículo en la bancada.
- Desmontaje y montaje los vidrios y los guarnecidos.
- Pintura de la carrocería.
- Control de la calidad de la reparación y el acabado de la carrocería.

Asimismo, la prestación de servicios de mantenimiento y reparación de vehículos en estaciones de servicio y de forma independiente.

Existen actividades anexas al mantenimiento de los vehículos, distintas a las propias realizadas en el centro de servicio.

Las principales actividades consideradas son las siguientes:

- Lavado de vehículos.
- Aspirado de vehículos.
- Servicios de presión de neumáticos.
- Depósitos de agua para la refrigeración del motor y los depósitos de limpia brisas, así como ajustes en limpia brisas.
- Centros de lubricación.

1.1.1. Ubicación

La ubicación de un negocio determina en gran medida su clientela, su sostenibilidad y por ende su éxito; considerando que una apropiada localización ayuda a paliar algunas deficiencias administrativas que existan, de lo contrario afectaría gravemente a la gestión, incluso del comerciante más hábil.

Actualmente, GP Revolutions se encuentra ubicado en la 12 calle 11-34, sector 1, colonia San José Las Rosas, zona 6 de Mixco, ruta a El Milagro, a un costado de la calle principal, esto permite el fácil acceso de los clientes hacia el centro de servicio, y a la vez una ruta de prueba de vehículos y accesibilidad a diferentes puntos de la ciudad.

1.1.2. Historia

GP Revolutions es una empresa de servicios automotrices, que basa sus funciones operativas fundamentales en vehículos, con el firme objetivo de brindar servicios profesionales ingenieriles a la industria nacional.

Nace de la iniciativa de jóvenes emprendedores con la visión de cambiar la perspectiva que se tiene de los talleres mecánicos, a través de dar a conocer la buena imagen de las personas profesionales que en estos laboran, brindando servicios automotrices profesionales de alta calidad que compitan con los prestados por las agencias de vehículos en Guatemala y replicar estos centros de servicios en otras ubicaciones creando un impacto a nivel nacional.

Inició operaciones a partir de julio de 2013, y desde febrero de 2014 se encuentra en su actual ubicación, cerca del boulevard principal. Por lo tanto, es una empresa relativamente nueva y en crecimiento, con el lema de mejora constante. Confiando en personas emprendedoras que creen en el talento nacional, y su principal valor es la solidaridad, dispuestos a romper paradigmas que rodean a los talleres de gama baja y mostrar que es un lugar confiable, donde los clientes se sientan en casa.

1.1.3. Misión

“Somos una empresa automotriz que brinda servicios y asesorías de alta calidad a todo tipo de vehículos en Guatemala, personas individuales y empresas”¹.

¹ Fuente: plan estratégico de la empresa Gp revolutions.

1.1.4. Visión

“Ser líderes en reparación, mantenimiento, modificación y asesoría automotriz en Guatemala”².

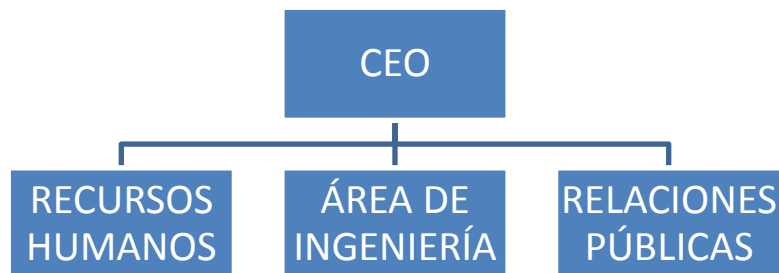
1.1.5. Valores

- “Responsabilidad
- Puntualidad
- Honradez
- Solidaridad
- Confianza”³.

1.1.6. Organigrama

En la figura 1 puede observarse como es la organización de la empresa, objeto del presente estudio.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: plan estratégico de la empresa Gp revolutions.

² plan estratégico de la empresa Gp revolutions.

1.2. Descripción del problema

GP Revolutions presta una diversidad de servicios, sin embargo, existen algunas condiciones que dificultan su eficacia, entre ellas: la fatiga del personal en la reparación de los vehículos por falta de herramienta neumática, tales como: pistolas de impacto, sopletes, ratchet neumáticos y un sistema eficiente de aire comprimido.

La falta de estos insumos influye negativamente en la competitividad laboral. Debido a que si se contaran con dichas herramientas habría mejoría en el flujo de vehículos, aumento de la demanda de servicios, y por ende, mejores ingresos.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Ahorro energético

Es cualquier acción que tienda a hacer más eficiente el consumo de energía, sin menoscabo de la calidad del servicio obtenido por el uso de esta. En la industria se pueden conseguir ahorros energéticos teniendo hábitos más responsables del uso de la energía y recurriendo a equipo de alta eficiencia energética.

Al referirse al ahorro energético, se habla de igual forma de la responsabilidad que el ser humano debe tener del recurso eléctrico, considerando el mismo como una de las mayores necesidades tanto de las personas como del mundo en general.

El aire comprimido se ha utilizado desde la antigüedad y actualmente es uno de los consumidores de energía más fuertes en el sector industrial. Según estadísticas de la comisión de eficiencia energética en el sector industrial, la utilización de aire comprimido representa el 18 % del consumo energético y muchas veces se eleva a un 22 %, es decir, representa casi un cuarto del consumo total de energía.

Con una buena práctica y métodos ingenieriles se puede alcanzar un ahorro energético significativo, desde el simple hecho de hacer un buen cálculo del diámetro de la tubería a utilizar en la red, hasta la potencia del compresor que se utilizará.

El ahorro energético supone una economía de recursos naturales para salvaguardar al medio ambiente y fomentar un desarrollo sustentable. Por este motivo se debe ser responsable mediante un consumo moderado de la energía.

No se trata de ahorrar luz, sino de iluminar mejor, consumiendo menos electricidad, por ejemplo: los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía, pueden reducir el consumo energético de la siguiente manera: apagando las máquinas, usando menos focos, dando mantenimiento puntual a los equipos, para disminuir costos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental.

Los usuarios industriales y comerciales pueden aumentar eficacia y maximizar así su beneficio. El consumo de la energía está directamente relacionado con la situación económica y los ciclos económicos, por lo que es necesaria una aproximación global que permita el diseño de políticas de eficiencia energética.

A partir del 2008, la ralentización del crecimiento económico significó una reducción del consumo de contaminación a nivel global que tuvo su efecto sobre la emisión de gases de efecto invernadero. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica, buscando la generación a partir de energías renovables y una mayor eficiencia en la producción y el consumo.

2.1.1. Corrección de fugas

Un factor muy importante, en el uso de aire comprimido son las fugas, estas definitivamente van a existir, pero con dedicación se pueden mitigar. Las fugas representan hasta un 10 % en un rango permisible, pero en muchos

sectores por descuidos han llegado a ser hasta un 60 %, que traducido a costos representa un alto gasto para las empresas.

Las fugas causan importantes caídas de presión que producen ineficiencia en el funcionamiento de las máquinas y las herramientas, afectando la producción, forzando a los compresores a trabajar continuamente, provocando mayores desgastes, mantenimientos y costos.

Para compensar estas pérdidas, normalmente se induce a un aumento en la presión del sistema.

Las pérdidas de aire aumentan en función directamente proporcional al cuadrado del diámetro del orificio a la presión de utilización y a las horas de operación del sistema.

Las fugas de aire pueden ser una fuente muy grande de consumo de energía en un sistema de aire comprimido, muchas de las veces entre un 20 a 30 % del volumen total del aire de los compresores. Una planta tradicional que no mantiene un buen programa de corrección de fugas de aire utiliza aproximadamente un 20 % del total de la producción de aire comprimido.

Por otro lado, estas fugas se pueden reducir hasta por debajo de un 10 % del total de la producción de aire comprimido, con un adecuado programa de corrección de fugas.

Algunos usos inapropiados del aire comprimido son los siguientes:

- Sopleteo: cuando se utiliza para enfriamiento, secado, limpieza general, limpieza personal y barrido de pisos.

- Generación de vacío: es cuando el aire comprimido es usado en conjunto con un Venturi, para generar presión negativa y volumen en masa. Como alternativa se puede utilizar una bomba de vacío. Si el vacío con aire comprimido es necesario, se instalará una válvula solenoide en la línea de suministro de aire comprimido, para apagar esta aplicación cuando no sea necesaria.
- Enfriamiento de gabinetes: controles programables, cabinas de control en línea, paneles c/relays, sistemas NC/CNC y gabinetes de computadoras, son algunos de los ejemplos típicos.
- Transporte de diluidos: es utilizado para transportar sólidos como material en polvo en un formato diluido con aire comprimido. Una alternativa es utilizar *blowers*, que son equipos de baja presión y alto caudal.
- Atomización: es cuando el aire comprimido se usa para dispersar o entregar líquidos a un proceso en aerosol. Un ejemplo es atomizar combustible hacia dentro de un *boiler*. La presión fluctuante puede afectar la eficiencia de la combustión.
- *Sparging*: es el hecho de aerear, oxigenar, agitar líquidos con aire comprimido. Como alternativa se puede utilizar un *blower*.

2.1.2. Ajustes de la presión de succión y descarga

Un equipo bien ajustado es una inversión bien ejecutada, la demanda de aire, según la necesidad, obliga a tener accesorios que permitan controlar adecuadamente el flujo de aire en determinados sectores, si se restringe el paso de aire a valores adecuados, estos permitirán aminorar la turbulencia en el sistema, esto se verá reflejado en menor pérdida de presión en la tubería de aire comprimido.

Los reguladores de presión permiten establecer un caudal de aire comprimido a una presión constante y ajustada a las necesidades del punto de trabajo. Son del tipo de diafragma o pistón cargado por muelle y válvula equilibrada.

Para conseguir características óptimas de caudal y una mínima pérdida de carga, se debe sobredimensionar la válvula principal que es de asiento plano y se debe situar adecuadamente el tubo de aspiración.

La relación entre área del diafragma o pistón y dimensión y recorrido de la válvula, asegura alta eficacia en el control y mantenimiento de la presión regulada.

Todos los reguladores van provistos de conexiones para manómetro en ambos lados. En ejecución estándar, todas las unidades son con alivio en el secundario, pudiéndose suministrar, opcionalmente, sin escape.

Girando en el sentido del reloj el botón de ajuste, se comprime el resorte contra el disco del diafragma, el cual transmite este empuje al vástago de la válvula principal. Si la presión del muelle sobre el diafragma es superior al empuje ejercido por la presión del aire en el lado opuesto, el diafragma cede empujando el vástago de la válvula, abriendo el paso entre el lado de entrada del regulador y el de salida, permitiendo así fluir el aire. Al circular el aire hacia la salida, desciende la presión en esta parte secundaria, disminuyendo la acción de la presión debajo del diafragma, resultando mayor la fuerza del resorte en la parte superior. El aire fluirá hacia el secundario, elevando de nuevo la presión. El muelle de la válvula principal hará subir a esta y al vástago junto con el diafragma, cerrando el paso del aire comprimido cuando en el secundario se alcance la presión regulada.

En los reguladores con alivio, si la presión del secundario por algún motivo fuera superior a la regulada, se levantaría el diafragma separando el asiento del orificio de alivio del vástago de la válvula, permitiendo una fuga de presión a través del alojamiento del resorte hacia la atmósfera.

Las principales fuentes de pérdidas se deben a la forma en que los compresores de tornillo de velocidad fija son controlados. Normalmente, estos son controlados por el sistema carga-descarga que se caracteriza por:

- La señal de control: es la presión de aire en la red. El sistema de control entiende que cuando la presión en el sistema aumenta es porque hay una disminución en la demanda y viceversa.
- Para suministrar la cantidad precisa de aire demandada, el compresor opera dentro de su sistema de control con una banda de presión. Por ejemplo, si el compresor tiene una presión de trabajo de 7,5 bar (g), probablemente la banda de presión estará configurada entre 7,3 y 7,7 bar (g).
- Cuando la presión en la red de aire alcanza los 7,7 bar (g) (presión de descarga), el compresor deja de comprimir y entra en descarga o vacío.
- Durante el período de descarga: el motor del compresor no se detiene. El compresor libera toda su presión interna, la demanda de la planta es suplida por el acumulador de aire, y el compresor no entrará nuevamente en carga mientras no se alcancen los 7,3 bar (g) (presión de carga).
- Así se asegura que el motor no se detenga, para protegerlo de múltiples partidas. Un motor de inducción no puede partir más de 4 a 5 veces por hora, y los ciclos de carga-descarga son miles en un día.
- Durante el período de descarga, el motor sigue funcionando alrededor de 25 por ciento de su potencia a plena carga, sin producir aire. Cuando la presión baja a su nivel de carga, el compresor vuelve a comprimir.

Utilizar compresores de velocidad variable no significa desechar el uso de compresores de velocidad fija, dado que en un sistema el usuario puede contar con un compresor de velocidad fija para absorber el consumo de piso de su planta, permitiendo que este opere en su punto de mejor eficiencia (a plena carga permanentemente), y con un compresor de velocidad variable para absorber las fluctuaciones de la demanda.

2.1.3. Limpieza de filtros y tuberías

La importancia de un buen sistema de control de mantenimiento preventivo a cualquier equipo de maquinaria es vital y aplicarlo al equipo de aire comprimido es fundamental para mejorar el ahorro energético. Solo mantener un buen flujo de aire de entrada, limpio y constante permite al compresor succionar la cantidad suficiente de aire y no permitirá un desgaste excesivo en el cabezal. Un cabezal en buen estado permitirá llenar de manera eficiente el cilindro de almacenamiento del compresor.

Para mantener limpia la entrada de aire, se pueden utilizar los siguientes sistemas:

- Filtración de superficie

Un filtro de superficie actúa como un tamiz. Las partículas de mayor tamaño que los orificios del cartucho se adhieren a la superficie, mientras que las partículas más pequeñas la atraviesan. Ajustando los orificios del material filtrante, se puede determinar la capacidad del filtro para separar partículas hasta un determinado tamaño.

Cuando los orificios del filtro se obstruyen, se produce una caída de presión y se debe limpiar o cambiar el cartucho. El material de un filtro de superficie puede ser fibras de celulosa, polietileno o metal sintetizado.

- Filtración con carbón activo

Al filtrar a través de un lecho de carbón activado, se absorben tanto los vapores de aceite como determinados gases. El aire comprimido es inodoro e insípido. Normalmente, el carbón activo de un cartucho absorbe aceite hasta aproximadamente el 15 % del peso del carbón antes de su saturación. Cuando el carbón está saturado, se sustituye el elemento filtrante.

Este tipo de filtro debe estar siempre precedido de un filtro de profundidad donde se separe cualquier gotita de aceite. Antes de su filtración a través de carbón activo, el aire comprimido, también se debe secar con un equipo de secado.

- Filtración en profundidad

La filtración en profundidad separa el aceite, y las partículas del aire comprimido a través de un filtro de fibras de vidrio. Las gotitas de aceite quedan atrapadas en las fibras y se vacían a través de una válvula de drenaje en la parte inferior de la carcasa del filtro.

Las partículas sólidas quedan retenidas entre las fibras. Cuando el material filtrante está saturado de contaminantes, se produce una caída de presión en el filtro y se debe cambiar el cartucho. El filtro separa el aceite más eficazmente cuando el aire tiene una baja temperatura (+20 °C o menos) y cuando su velocidad a través del filtro es correcta.

Mientras tanto, al tener un sistema de tuberías con un diámetro adecuado y limpias en su interior, permitirá un flujo adecuado de aire, sin obstrucciones y menor cantidad de pérdidas por fricción, esto se verá reflejado en un cabezal sin desgaste por esfuerzos excesivos, suavidad y sin golpe en su funcionamiento.

Razones económicas y de seguridad industrial exigen la constante limpieza de tubos en instalaciones tubulares, manteniéndolas libres de incrustaciones, depósitos y de suciedad en general.

2.1.3.1. Tubería de aire comprimido

La finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido es distribuir aire comprimido a los puntos en los que se utiliza.

El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido.

La fabricación de aire comprimido es costosa. Un sistema de aire comprimido mal diseñado puede aumentar los gastos de energía, provocar fallos en los equipos, reducir el rendimiento de la producción y aumentar los requisitos de mantenimiento.

En general, suele considerarse cierto que los costos adicionales realizados en la mejora del sistema de canalización de aire comprimido resultarán rentables muchas veces durante la vida del sistema.

Los tubos neumáticos son sistemas en los cuales contenedores cilíndricos son propulsados a través de una red de tubos por medio de aire comprimido o de vacío. Son usados para transportar objetos sólidos, al contrario de las tuberías comunes, que transportan gases o fluidos.

Las redes de tubos neumáticos ganaron gran prominencia a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX en negocios o administraciones que necesitaban transportar pequeños, pero urgentes paquetes (como correo o dinero), a través de distancias relativamente cortas (dentro de un edificio o, a lo sumo, una ciudad). Algunos de esos sistemas crecieron hasta alcanzar gran complejidad, pero fueron reemplazados por métodos más modernos de comunicación y transporte de mensajería, y son ahora mucho más raros que antes.

Un pequeño número de sistemas de transporte neumático fue construido para grandes cargas, para competir con sistemas ferroviarios y subterráneos.

Un tipo de tubería de plástico, el ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) está aprobado para el uso con aire comprimido, si la tubería está marcada como aprobada para dicho propósito, no se romperá bajo presión, pero se romperá y tendrá pérdidas como tuberías metálicas. Otro plástico, el polietileno de alta densidad (HDPE) no tiene la fragilidad del PVC y según la hidráulica y la neumática, puede transportar de manera eficiente y segura el aire comprimido. El HDPE se expande y se rompe al punto de fallar en lugar de explotar.

2.1.4. Reducción de pérdidas en el sistema

Otra forma de mejorar el ahorro energético es la reducción de pérdidas en el sistema de distribución, se sabe que las pérdidas en este sistema se van a dar por material utilizado en la tubería, la cantidad de accesorios que actuarán

como una tubería equivalente y, por lo tanto, actúa como pérdida en el sistema, el diámetro de la tubería utilizada, entre otras. Esto da la pauta que, con el solo hecho de realizar un buen diseño de tuberías, un material que ofrezca menor cantidad de fricción y un buen cálculo de diámetro de tubería, se reducirán notablemente las pérdidas en el sistema de aire comprimido.

Las fugas suponen una importante pérdida de energía en un sistema de aire comprimido, llegando en muchas ocasiones a un valor del 30 % del caudal del compresor. Además, las fugas de aire pueden contribuir a la aparición de problemas de funcionamiento del sistema, entre los que se incluyen:

- Fluctuación de la presión del sistema: puede ocasionar que las herramientas neumáticas y cualquier otro equipo accionado por aire comprimido funcione de forma menos eficiente y esto puede afectar negativamente a la producción.
- Excesivo caudal de aire comprimido: implicando costos mayores de los necesarios.
- Disminución de la vida útil de los equipos de la instalación de aire (incluido el compresor) y aumento del mantenimiento necesario debido a los ciclos de cargas innecesarios y al aumento de las horas de funcionamiento.

Aunque las fugas pueden aparecer en cualquier punto de la instalación, los sitios más frecuentes son los siguientes: uniones de tuberías, mangueras, conexiones de tipo rápido, FRL's (filtros, reguladores y lubricadores), drenajes de condensados, válvulas, bridas, prensaestopas, sellos de roscas y equipos dispuestos en el punto de utilización. El caudal de aire perdido en fugas depende de la presión del aire en un sistema incontrolado y aumenta cuando lo hace esta.

2.1.5. Disminuir las pérdidas de carga utilizando diámetros adecuados de tubería

Para utilizar el diámetro adecuado, aparte del cálculo ingenieril es importante el recurso económico que se tenga disponible, se va a elegir el diámetro que aporte la menor cantidad de pérdidas, pero que se tenga la capacidad de pagar, esto obligará a elegir el diámetro más económico pero que cumpla con la pérdida de carga permisible en el sistema, que está en el rango del 3 al 6 %.

La caída de presión en un sistema de aire comprimido es un factor muy importante. Está provocada por la fricción del aire comprimido que fluye contra el interior del tubo y a través de las válvulas, tees, codos y otros componentes que constituyen un sistema completo de canalización de aire comprimido.

El tamaño y el tipo de los tubos empleados, el número y el tipo de válvulas y curvas del sistema pueden afectar a la caída de presión.

Las turbulencias provocadas por fricción reducen el volumen de aire comprimido transportado a través del tubo. Además, la superficie de las paredes internas del tubo se vuelve irregular.

Estos factores, combinados con el caudal, crean una caída de presión como resultado de la fricción provocada por la dinámica del flujo de aire dentro del tubo.

Los valores de caída de presión se muestran como diferenciales de presión y se expresan en PSI o bar.

Para elegir el diámetro de las tuberías se debe considerar la suposición de consumos de aire más desfavorable respecto a las pérdidas de carga que se producen en la instalación. En este caso, la hipótesis más desfavorable es la que todas las máquinas estén consumiendo aire a la vez.

Al tratarse de una instalación pequeña se elegirá un único diámetro para todos los tramos de la línea principal. Asimismo, se elegirá también un único diámetro para todas las acometidas.

2.1.6. Utilización de tanques de almacenamiento con criterio de eficiencia energética

La función principal del tanque de almacenamiento en el compresor es absorber las fluctuaciones causadas por la demanda de aire y controlar los períodos de ciclado, pero el diseño y capacidad del tanque ayuda a mejorar la eficiencia energética, el aporte mínimo que este diseño tiene que brindar es el siguiente:

- Proporcionar capacidad de almacenamiento
- Eliminar el flujo pulsante
- Incrementar el enfriamiento
- Recuperar residuos de condensado y aceite

2.2. Cálculo de cargas por equipos

Lo primero que hay que conocer para el diseño de un sistema de aire comprimido para cualquier sector de trabajo, industria, alimentos y manufactura, es la demanda de aire a utilizar, llamada comúnmente como cargas por

equipos, es por ello que se debe conocer el equipo o herramienta neumática, la cual variará según el ambiente de trabajo en el cual se encuentre.

El requerimiento nominal de aire comprimido se determina a partir de los consumidores de aire individuales. El cálculo se realiza como un sumatorio de los consumos de aire de todas las herramientas, máquinas y procesos que se conectan al sistema junto con la estimación de su factor de utilización. La adición de fugas, desgaste, y los cambios futuros en la demanda de aire deben ser tenidos en cuenta desde el principio del diseño.

Un método simple para estimar la demanda presente y futura de aire es recopilar en un listado las necesidades de aire para los equipos conectados y su factor de utilización.

Este tipo de cálculo requiere un listado de máquinas con sus respectivos datos de consumo de aire y sus índices de utilización esperados. Si los datos de consumo de aire o factor de utilización no están disponibles, se pueden utilizar valores estándar.

El factor de utilización de las herramientas puede ser difícil de estimar, en cuyo caso tiene que ser evaluado de forma aproximada por comparación con aplicaciones similares.

La capacidad del compresor viene determinada, esencialmente, por el requerimiento nominal total de aire comprimido.

La capacidad de reserva calculada viene determinada, principalmente, por el costo de la pérdida de producción resultante de un potencial fallo del aire comprimido.

El número de compresores y su tamaño relativo vienen determinados por el grado necesario de flexibilidad del sistema, sistema de control y eficiencia energética.

En una instalación en la que solo un compresor suministra aire comprimido (debido a restricciones económicas), el sistema puede estar preparado para una rápida conexión de un compresor portátil como elemento productor en caso de emergencia. Un viejo compresor que se use como fuente de reserva, se utiliza como reserva de producción de energía de bajo costo

Esta técnica tendrá que establecerse en el mantenimiento correctivo del compresor, se tendrá que desconectar el compresor del sistema de aire comprimido, para reemplazar cabezales, émbolos, motor eléctrico, aspas ventiladoras y bandas de transmisión, al ejecutar cualquiera de estas tareas se verá forzado a detener el funcionamiento del compresor, y será necesaria la utilización de un compresor que suministre la demanda de aire mientras se ejecuten los tareas de mantenimiento.

2.2.1. Pistolas de impacto

Las pistolas de impacto o neumáticas son herramientas que nunca faltan en un taller mecánico, centro de llantas y venta de partes usadas, es una herramienta muy versátil y ahorra mucho tiempo para desarmar y armar un vehículo.

Tabla I. **Especificaciones técnicas de pistola neumática**

Pistola neumática o de impacto	
Consumo de aire	5,1 CFM
Presión de trabajo	90 PSI

Fuente: Manual de la herramienta Craftman.

2.2.2. Ratchet neumático

Es una herramienta neumática análoga a la pistola de impacto, esta ofrece menor tamaño, peso y la particularidad de entrar en espacios reducidos, tiene menor capacidad de apriete.

Tabla II. **Especificaciones técnicas de ratchet neumático**

Ratchet neumático	
Consumo de aire	6,2 CFM
Presión de trabajo	90 PSI

Fuente: Manual de la herramienta Snapoon.

2.2.3. Pistola tipo soplete

Herramienta utilizada para limpieza, desde la sencilla para sopletar hasta las más complejas, que tienen un sistema de arrastre de líquidos aplicando el principio de Venturi, estos últimos son utilizados para agregar algún tipo de líquido de limpieza, como jabón o algún tipo de desengrasante.

Tabla III. **Especificaciones técnicas de pistola tipo soplete**

Pistola tipo soplete	
Consumo de aire	1,5 CFM
Presión de trabajo	90 PSI

Fuente: Manual de la herramienta Pretul.

2.2.4. **Puentes elevadores de vehículos**

Aunque algunos iniciaron con funcionamiento de aire, actualmente los elevadores son hidráulicos, útiles para conectar dispositivos neumáticos con acoples rápidos.

2.2.5. **Máquina para pinchazo**

Esta máquina utiliza para su funcionamiento aire comprimido, teniendo la función de sujetar el aro y disponer de brazos que facilitan la desmontada de llantas y la facilidad de inflarlos. En un principio estas máquinas eran totalmente mecánicas, utilizando la fuerza humana por medio de palancas, actualmente se utilizan los dos tipos de máquinas.

Tabla IV. **Especificaciones técnicas de máquina desarmadora de llantas**

Máquina desarmadora de llantas	
Consumo de aire	10 CFM
Presión de trabajo	95 PSI

Fuente: Manual del equipamiento Snapoon.

2.3. Diseño de líneas de distribución

La primera labor de diseño de una red de aire comprimido es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire anotando su consumo y presión requeridas. También identificar el lugar de emplazamiento de la batería de compresores. Es importante realizar una buena labor, debido a que una vez establecida la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red.

Para el diseño de la red se recomiendan las siguientes observaciones:

- Diseñar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.
- Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, accesorios y cambios de sección que aumentan la pérdida de presión en el sistema.
- La tubería siempre debe ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Esto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones, fácil inspección y accesibilidad para el mantenimiento. Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación de condensados.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos para evitar accidentes.
- En la instalación de la red tomar en cuenta cierta libertad para que la tubería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura. Si esto no se garantiza es posible que se presenten combas con su respectiva acumulación de agua.

- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería sí soportan el nuevo caudal.
- Un diámetro adecuado en la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evacuación de condensados.
- Para el mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso instalados en puntos estratégicos, con esto se evita detener el suministro de aire a otros servicios cuando se realicen reparaciones de fugas o nuevas instalaciones.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.
- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería secundaria para evitar el descenso de agua por gravedad hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado.

El diseño de las líneas de distribución puede variar, pero por la forma de dar acceso al aire comprimido a los puntos de servicio están divididas en dos tipos de redes:

- Cerrada
- Abierta

2.3.1. Red cerrada

En esta configuración, la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella

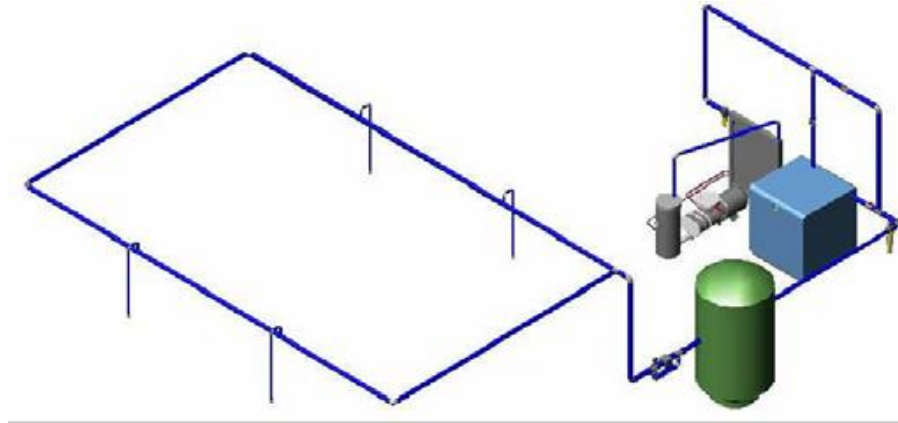
se facilitan las tareas de mantenimiento de manera importante, puesto que ciertas partes pueden ser aisladas sin afectar a la producción.

A partir del cabezal principal, para el suministro de aire a los usuarios finales se utiliza uno o varios lazos cerrados, con lo que se garantiza que la presión en los diversos puntos de consumo será más uniforme en cualquier condición de carga del sistema, al provenir el aire para cada equipo o herramienta desde dos puntos. Evidentemente se incrementa la cantidad de tubería y se disminuye la capacidad de cada línea, lo que produce caídas de presión.

La falta de dirección constante del flujo es una desventaja importante de este sistema, ya que la dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto, el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo.

El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (filtros y enfriadores) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

Figura 2. **Red cerrada**



Fuente: AEE aire comprimido. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. p. 7

2.3.2. **Red abierta**

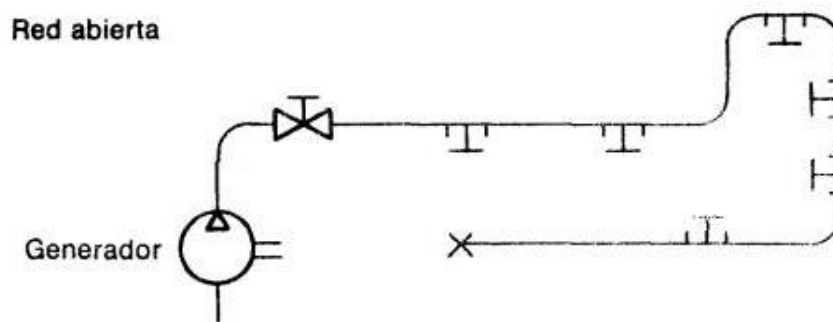
Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio.

En esta, a partir del cabezal principal, se generan los ramales secundarios hacia los distintos puntos de consumo. En esencia es igual a un sistema de ductos de distribución de aire acondicionado. Como desventaja inherente a este tipo de sistemas, está el desbalanceo de la carga que causa una mala distribución de aire, por lo que será necesario tomar en cuenta este efecto para diseñar con mayor cuidado el tamaño de las líneas de distribución. La caída total de presión del sistema se determina tomando en cuenta el punto más alejado de consumo.

La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para

la evacuación de condensados. La desventaja principal de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante la necesidad de una reparación es posible que se detenga el suministro de aire “aguas abajo” del punto de corte, lo que implica una parada en el suministro de aire a la producción.

Figura 3. **Red abierta**



Fuente: AEE aire comprimido. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. p. 7

Cuando se diseña una red de aire comprimido, lo primero que se debe hacer es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire anotando su consumo, calidad y presión requeridas. Es necesario identificar el lugar donde se va a emplazar el compresor, o, en su caso, la sala de máquinas de compresores. Es necesario realizar un buen trabajo puesto que una vez realizada la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red.

Hay que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- La red de aire comprimido hay que diseñarla con base a la arquitectura y las actividades que se desarrollan dentro del edificio industrial y de los

requerimientos de aire. No hay que olvidar las posibles ampliaciones o modificaciones que pueda sufrir la planta.

- Procurar que las instalaciones de tuberías de aire sean lo más rectas posible. Disminuir la longitud de tubería, evitar codos, tees, y cambios de secciones que aumenten la pérdida de presión en el sistema.
- La instalación de tubería siempre debe ir aérea, sujetas a paredes o techos. Esto le facilitará las tareas de instalación de accesorios, purgas de condensado o futuras ampliaciones. Al tener una línea aérea será de fácil acceso para inspección y mantenimiento. Las tuberías enterradas no son prácticas, puesto que dificultan su mantenimiento y en el interior del circuito impide la evacuación del agua condensada.
- Para evitar posibles accidentes y riesgos eléctricos la instalación de tubería de aire comprimido no debe ir cerca del cableado. Si se monta cerca o en una bandeja porta cables debido a que no existe otra alternativa, hacerlo en la parte inferior de la misma. Hay que tener cierta libertad a la hora de instalación de la red de aire comprimido para que la tubería permita variación de longitud debido a la dilatación de los materiales por la diferencia de temperaturas.
- Antes de realizar salidas o tomas de aire comprimido en la red hay que comprobar que los diámetros de la tubería sean los adecuados para manejar la adicional de aire que se va a requerir al sistema.
- En la tubería principal hay que diseñar el diámetro adecuado para evitar problemas a la hora de la ampliación de la red. La pendiente de la tubería principal deberá tener una leve inclinación, será del 1 % en la dirección del flujo del aire, para favorecer las purgas de condensados.
- Para evitar detener el suministro de aire comprimido en la red cuando se hagan reparaciones de fugas, nuevas instalaciones y operaciones de mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso frecuentemente en la red.

- Las tomas de aire para bajar a una máquina no deben hacerse nunca en la parte inferior de la tubería sino en la parte superior, para evitar que el agua condensada que circula por efecto de la gravedad pueda ser recogida y llevada a los distintos equipos neumáticos conectados a la red.
- Es recomendable que la pérdida de presión hasta el punto más desfavorable se establezca en un rango de 3 % al 6 % de la presión de operación del sistema.
- En las bajantes de acometidas y antes de la toma del equipo neumático, hay que instalar una unidad de mantenimiento compuesto por: filtro, regulador de presión y lubricador.
- Hay que procurar no colocar más de dos o tres acoplamientos rápidos en las tuberías de servicio.
- Lo ideal es tener entre el compresor y la primera bajada al menos 7 metros de distancia para que el aire se enfríe. Colocar una manguera flexible entre el compresor y la red, de un diámetro acorde a la salida del equipo, (nunca inferior) para evitar transmitir vibraciones.

Por último, una consideración muy importante a tener en cuenta, es contactar a un especialista en el tema, ya que el costo de un buen diseño seguramente será muy inferior a las pérdidas que un mal diseño le significarán en poco tiempo.

2.4. Cálculo de pérdidas

Es importante conocer las pérdidas que va a tener el sistema, y entre menos tenga es mejor, estas pérdidas son consideradas para calcular junto a la demanda de aire, la potencia y caudal del compresor.

La tubería principal es la que sale desde el compresor y canaliza la totalidad del caudal de aire. Se debe dimensionar de tal manera que permita una ampliación del 300 % del caudal de aire nominal. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, debe ser 8 m/s.

Las tuberías secundarias toman el aire de la tubería principal ramificándose por las zonas de trabajo, de ellas salen las tuberías de servicio. El caudal que pasa por estas, es igual a la suma del caudal de todos los puntos de consumo que alimentan. La velocidad máxima del aire que pasa por dichas tuberías debe ser 8 m/s.

Las tuberías de servicio son las que alimentan los equipos neumáticos. Llevan acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire y los grupos filtro-regulador-lubricador en cada punto de consumo. La velocidad máxima del aire que pasa por ella debe ser 15 m/s.

Se ha de evitar tuberías de diámetro inferior a $\frac{1}{2}$ " (12.7 mm), ya que diámetros pequeños originan importantes pérdidas de carga. La pérdida de presión máxima permisible, en el sistema de tuberías, no puede pasar de un 2 por ciento de la presión del compresor, así si se trabaja con 7 bares, la máxima caída permisible, será de 0,14 bar, ya que si a esta caída de presión se suma las de los demás elementos del circuito, la presión en el punto de trabajo, puede ser mucho más baja que la idónea para el circuito neumático. La práctica habitual es permitir que el 10 % de la presión a la cual trabaje el sistema se emplee en hacer frente a las pérdidas totales (el resto es la energía que se descargará en los orificios de trabajo). Así, para un sistema que trabaje a 7 bares, es normal fijar un valor de pérdidas máximo de 0,7 bar a lo largo de las conducciones.

La pérdida de carga en una tubería o canal, es la pérdida de presión en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, accidentales o localizados, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección o la presencia de una válvula.

2.4.1. Pérdidas por accesorios

Toda la presión a la salida del compresor no se puede utilizar debido al rozamiento del aire con las paredes de la tubería por donde circula hasta llegar a los puntos de consumo, más los efectos de estrangulamientos que se originan en las válvulas de paso, los cambios de dirección en el flujo en los codos, todo ello repercute en pérdidas a través de un aumento en la temperatura del aire que se transforma finalmente en una pérdida de presión estática en el flujo.

Las pérdidas de accesorios se trabajarán por el método de longitud equivalente, se utilizará la tabla del libro de Carnicer.

Tabla V. **Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería tabulado como longitud equivalente de tubo recto en pies**

Accesorios	Tamaño nominal de la tubería (plg)						
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"
Codo	1,55	2,06	2,62	3,45	4,02	5,17	6,16
Válvula de compuerta	0,36	0,48	0,61	0,81	0,94	1,21	1,4
Válvula de ángulo	6,65	11,4	14,6	19,1	22,4	28,7	34,3
Válvula de globo	17,3	22,9	29,1	38,3	44,7	57,4	66,5

Continuación de la tabla V.

Tees	0,62	0,82	1,05	1,38	1,61	2,07	2,47
Reducción	0,066	0,132	0,165	0,198	0,231	0,33	0,66
Cuello de cisne	0,627	0,66	0,825	1,07	1,32	1,65	
Filtro separador	0,66	0,99	1,32	1,65	1,96	2,31	3,3

Fuente: *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones. Carnicer Royo. p. 235*

2.4.2. Pérdidas por material de tubería

Las tuberías suelen ser de acero negro, galvanizado o inoxidable. Deben poder desarmarse fácilmente, ser resistentes a la corrosión y tener un precio módico.

Las tuberías que se instalen de modo permanente se montan preferentemente con uniones soldadas por su precio. El inconveniente de estas uniones consiste en que, al soldar, se producen cascarillas que deben retirarse de las tuberías. De la costura de soldadura se desprenden también fragmentos de oxidación; por eso, conviene y es necesario incorporar una unidad de mantenimiento.

En las tuberías de acero galvanizado, los empalmes de rosca no siempre son totalmente herméticos. La resistencia a la corrosión de estas tuberías de acero no es mucho mejor que la del tubo negro. Para casos especiales se montan tuberías de cobre o plástico.

Cuando los caudales son grandes, al igual que las longitudes de las tuberías, se puede aceptar una pérdida de presión de hasta 0,5 bar, para el

compresor trabajando a 7 bar. Las tuberías de aire comprimido deben dimensionarse con holgura. Desde el punto de vista de la explotación, no existe ningún riesgo en que una tubería quede sobredimensionada; la caída de presión será menor y la tubería funcionará como depósito de aire.

Las pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería tabulado en términos de codos equivalentes.

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

NOMBRE DE LA PARTE	CODOS EQUIVALENTES	
	TUBO DE HIERRO	TUBO DE COBRE
Válvula de ángulo del radiador	2,0	3,0
Válvula de globo abierta	12,0	7,0
Válvula de compuerta abierta	0,5	0,7
Tee con desviación de:		
100 %	1,8	1,2
50 %	4,0	4,0
33 %	9,0	11,0
25 %	16,0	20,0
Codo de 90 grados	1,0	1,0
Codo de 90 grados con curva grande	0,5	0,5
Codo de 45 grados	0,7	0,7
Retorno U abierto	1,0	1,0
Unión de reducción	0,7	0,4

Fuente: folleto instalaciones mecánicas.

2.4.3. Pérdidas de carga por rozamiento en tuberías

Generalmente, cuando se refiere al tema de rozamiento, se entiende que existe fricción y se sabe que esta genera pérdidas, por lo tanto es necesario comprender los siguientes temas:

- Ecuación general de Darcy–Weisbach
- Rugosidad absoluta y rugosidad relativa
- Diferentes expresiones de las pérdidas de carga continuas
- Velocidad de fricción y número de Reynolds de la rugosidad

2.4.3.1. Ecuación general de Darcy-Weisbach

Es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería llena. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia.

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores. La ventaja es que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda.

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

Figura 4. **Ecuación general de Darcy-Weisbach**

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Fuente: THOMPSON, Richard E. *Oilfield Processing of Petroleum*, p. 293

Siendo

h_f = pérdida de carga debida a la fricción

f = factor de fricción de Darcy

L = longitud de tubería

D = diámetro de tubería

V = velocidad media del fluido

g = aceleración de la gravedad

Ecuaciones empíricas, principalmente la de Hazen-Williams, en la mayoría de los casos, eran ecuaciones significativamente más fáciles de calcular. No obstante, desde la llegada de las calculadoras, la facilidad de cálculo no es mayor problema, por lo que la de Darcy-Weisbach es la preferida.

Previo al desarrollo de la computación, otras aproximaciones como la ecuación empírica de Prony eran preferibles debido a la naturaleza implícita del factor de rozamiento.

2.4.3.2. Rugosidad absoluta y rugosidad relativa

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta (K), que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería.

Los experimentos de Nikuradse permitieron determinar el valor de esta rugosidad absoluta. Consistieron en producir una rugosidad artificial pegando en el interior de un tubo de vidrio (liso) áridos de diferentes granulometrías tamizados, es decir, de rugosidad conocida, hasta conseguir una pérdida de carga igual que la producida en un tubo comercial de un material determinado con igual longitud y diámetro que el de vidrio. Estos tubos, artificialmente preparados, se conocen como tubos arenisca.

Cuando una casa comercial da el valor de rugosidad K es en realidad la rugosidad media equivalente, lo que significa que se comporta del mismo modo que una tubería artificialmente preparada con la rugosidad absoluta K .

Un mismo valor de rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro, es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. Por ello, para caracterizar un tubo por su rugosidad resulta más adecuado utilizar la rugosidad relativa (e), que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería.

2.4.3.3. Diferentes expresiones de las pérdidas de carga continuas

Las pérdidas de carga por rozamiento en tuberías a presión pueden calcularse mediante dos grupos de fórmulas:

- Logarítmicas
- Empíricas

Aunque, en general, las fórmulas logarítmicas tienen mayor precisión que las empíricas, algunas de estas proporcionan una suficiente aproximación. En cualquier caso, es necesario conocer el tipo de flujo existente en la tubería, ya que, excepto la expresión logarítmica de White-Colebrook, cada fórmula es válida para un determinado régimen hidráulico. Por ello se debe comprobar que el número de Reynolds correspondiente a las condiciones del problema se encuentra dentro del intervalo de validez de la fórmula.

Mediante las fórmulas logarítmicas, de aplicación en régimen turbulento, se calcula el coeficiente de fricción (f) para su introducción en la ecuación general de Darcy–Weisbach.

Las fórmulas empíricas han sido deducidas experimentalmente para los distintos materiales y responden a la forma $h_c = c \times Q \times D^{-b} \times L$, en donde:

- c = Coeficiente de proporcionalidad
- Q = caudal
- D = diámetro
- L = longitud
- h_c = pérdida de carga en tubería

- $1,75 < b < 2$

La ecuación de Hagen–Poiseuille, para régimen laminar, fue deducida experimentalmente por el ingeniero alemán Hagen y, de forma independiente, por Poiseuille, que publicaron los resultados de sus trabajos en 1939 y 1940, respectivamente. Posteriormente, en 1956, Wiedemann la dedujo de forma analítica.

2.4.3.4. Velocidad de fricción y número de Reynolds de la rugosidad

Reynolds (1874) estudió las características de flujo inyectando un trazador dentro de un líquido que fluía por una tubería. El trazador se mueve linealmente en la dirección axial. Sin embargo, a mayores velocidades, las líneas de flujo de fluido se desorganizan y el trazador se dispersa rápidamente después de su inyección en el líquido. El flujo lineal se denomina laminar y el flujo errático obtenido a mayores velocidades del líquido se denomina turbulento.

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo. Conforme aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo, con base a los experimentos realizados por Reynolds en 1874 se concluyó que las fuerzas del momento son funciones de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además, la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido. Según dicho

análisis, el número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas o de rozamiento.

Este número es adimensional y puede utilizarse para definir las características del flujo dentro de una tubería.

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos, cuando las fuerzas viscosas tienen un efecto dominante en la pérdida de energía, el número de Reynolds es pequeño y el flujo se encuentra en el régimen laminar, si el número de Reynolds es 2 100 o menor el flujo será laminar. Un número de Reynolds mayor de 10 000 indica que las fuerzas viscosas influyen poco en la pérdida de energía y el flujo es turbulento.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Selección del circuito de línea de aire a utilizar

Si a un ser humano le falta el aire o lo respira contaminado, su salud se debilita; así mismo pasa cuando a las herramientas neumáticas no se les suministra un aire adecuado para su funcionamiento, su rendimiento se perjudica. Las razones de dicha falencia pueden variar de un caso a otro, pero, por lo general, radica en que las redes que conducen el aire a las máquinas no son construidas correctamente, o lo peor, no existen.

La red neumática es la estructura que distribuye el aire desde un compresor hasta la herramienta o puntos de trabajo que requiera el industrial.

Su importancia radica en que puede garantizar, mayor rendimiento y vida útil, menor consumo de energía del compresor, y tiempos de producción menores, entre otras razones, lo anterior puede lograrse si el diseño y planeación de la red neumática son correctos y es construida de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Para implementar una red correctamente, el diseñador debe tener presente que todo el montaje depende de dos factores: el caudal y la presión del aire, que están ligados al número y tipo de herramientas que sean abastecidas con la red neumática.

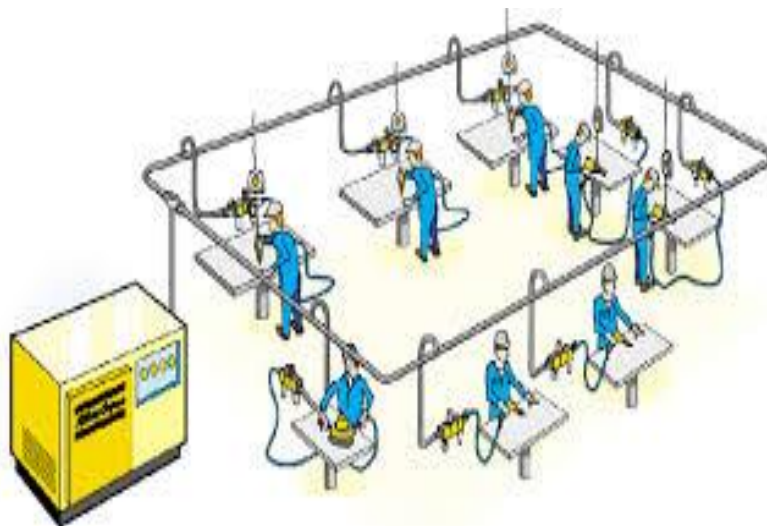
El caudal es la cantidad de aire que pasa por un punto en un tiempo determinado, y la presión del aire hace referencia a la fuerza con que este actúa sobre la unidad de área.

Hay herramientas que requieren mayor presión que caudal, a razón del proceso que realizan; para trabajos como el de pintura, por ejemplo, los equipos requieren cierta presión, pero también un caudal de aire constante, que si falla, hace que el proceso lo haga también.

De las opciones de tipo de red para tubería se observa y se elige la que permita trabajar en las estaciones, aunque otras estaciones se encuentren en mantenimiento, estas prestaciones la brinda la red de tubería cerrada.

Esto permitirá al taller estar produciendo o trabajando mientras se aísla la estación que amerite la reparación, permitiendo sacar el mejor provecho al sistema de aire comprimido.

Figura 5. **Propuesta de red a implementar**

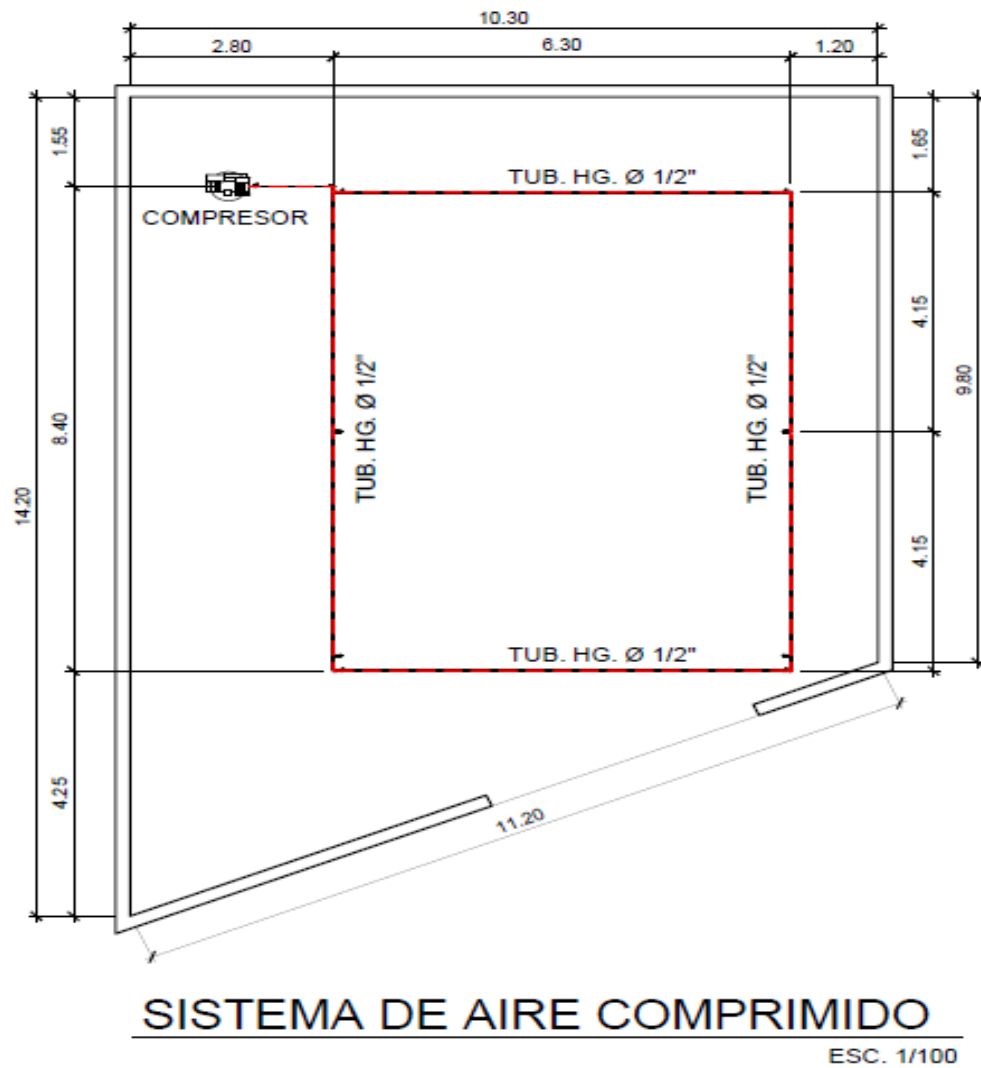


Fuente: Proyecto básico y de ejecución de la edificación y nuevas instalaciones de Repuestalia, Antonio García. p. 151

3.2. Planos

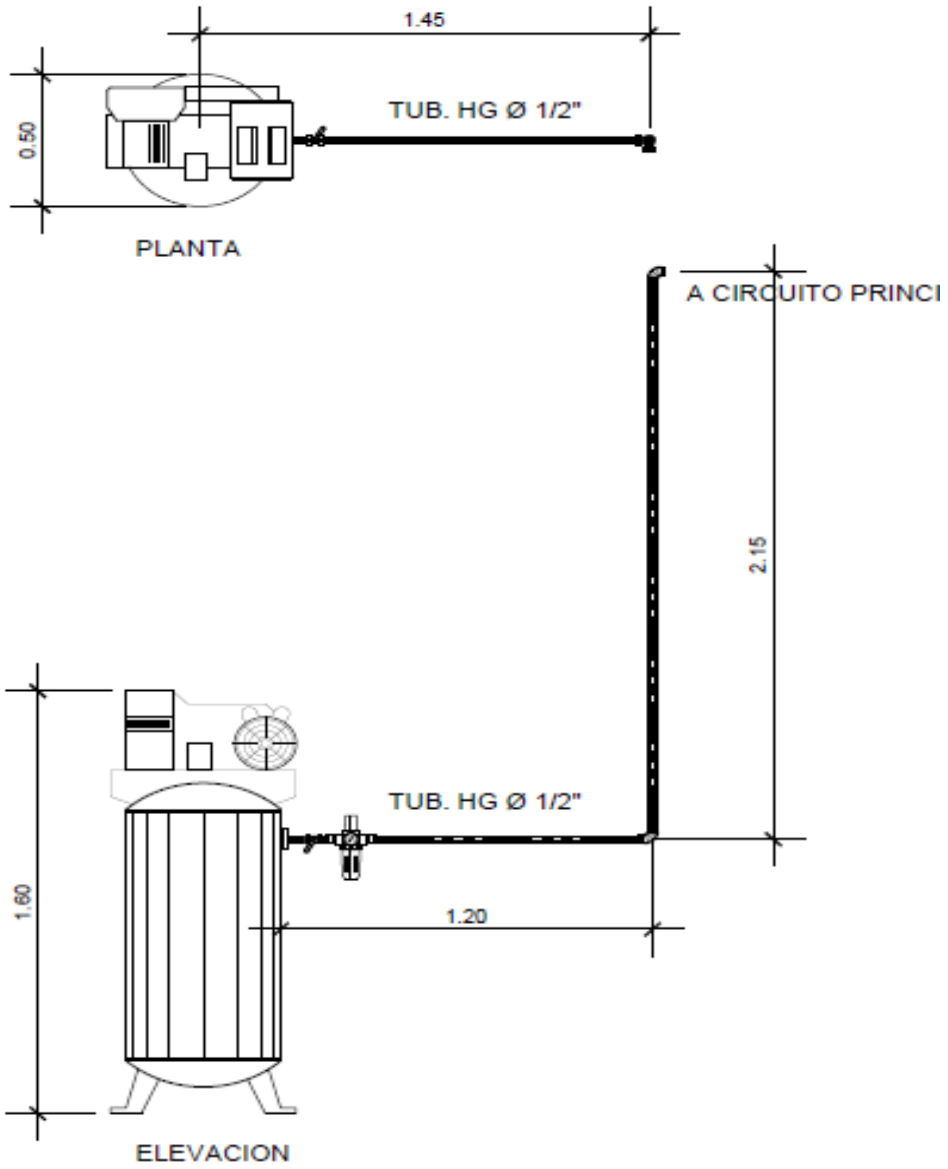
Son herramientas importantes para la ubicación e instalación de cualquier tipo de sistema de aire comprimido.

Figura 6. Sistema de aire comprimido



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 7. Plano de compresor

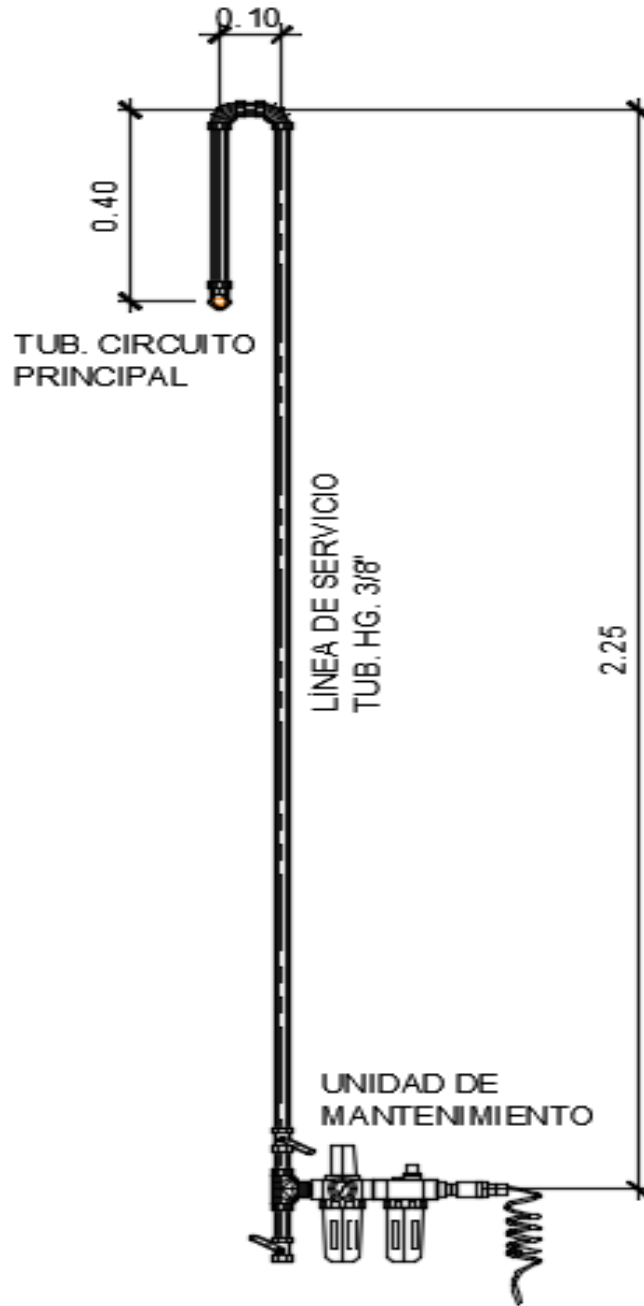


COMPRESOR 60 GALONES

ESC. 1/25

Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 8. Plano de línea de servicio



LÍNEA DE SERVICIO

ESC. 1/15

Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

3.3. Selección de equipo a utilizar

La disposición de la instalación y la selección del equipo corren parejas, ya que las necesidades del equipo en relación con los procesos de fabricación, sentido del flujo, facilidad de funcionamiento y mantenimiento, entre otros, deben aglutinarse en el plan general, con el objetivo último de elevar al máximo la productividad de cada máquina y reducir al mínimo la manipulación.

Al seleccionar el equipo teniendo presente el empleo de energía, habrá que atender debidamente a:

- Su relación con el restante equipo que interviene en la operación y con el que debe haber el equilibrio correspondiente.
- Habrá de ser aceptable su exigencia de energía por unidad de producción.
- Tener la capacidad apropiada para cubrir las exigencias de producción y poder hacer frente a las necesidades repentinas, pero sin funcionar muy por debajo de su capacidad nominal.
- Tener una construcción robusta, ser seguro y de fácil mantenimiento para reducir así al mínimo el tiempo improductivo.
- Incorporar un sistema de evacuación de residuos bien proyectado para evitar la acumulación de estos, que serían perjudiciales tanto para el equipo como para el funcionamiento general de la instalación.

El taller contará inicialmente con el siguiente equipo:

- 1 pistola de impacto marca Snacon
- 1 pistola para pintar marca HVLP
- 1 pistola para sopletear y limpiar marca Truper

Con este equipo se iniciarán las operaciones y posteriormente dar apertura a nuevo equipo.

3.4. Cálculo del compresor

Las herramientas neumáticas requieren un volumen de aire comprimido en la unidad de tiempo (expresado como pies cúbicos por minuto, o CFM) a una presión específica (expresado como libras-fuerza por pulgada cuadrada, o psi). La eficiencia de un compresor está determinada por las calificaciones CFM y psi, no necesariamente su potencia. Por lo tanto, puede ignorar la potencia nominal para determinar el tamaño y la selección de un compresor.

Es necesario reunir todas las herramientas neumáticas. Anotar los pies cúbicos por minuto requeridos para operar cada herramienta, tal como se especifica por el fabricante. Si no se puede encontrar esta información, se puede buscar en línea para ver una tabla de requisitos estándar para herramientas neumáticas comunes.

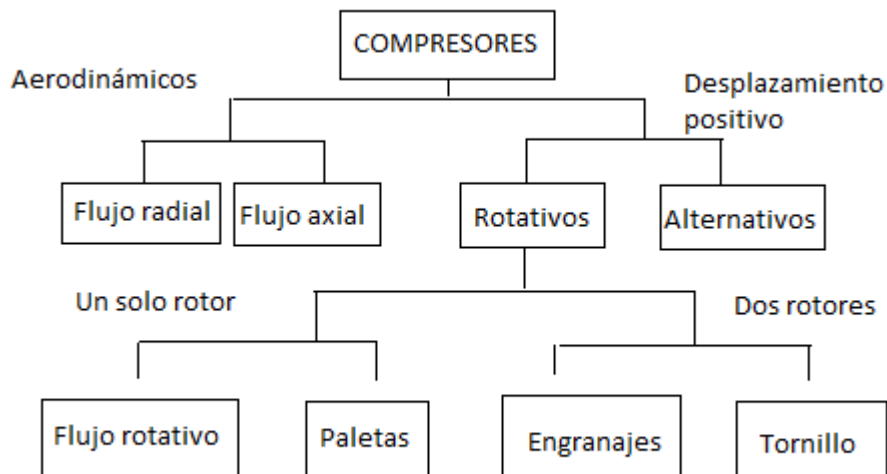
Hay que sumar los requisitos de CFM de todas las herramientas neumáticas que va a usar al mismo tiempo. Incrementar este número en un 30 por ciento para permitir herramientas adicionales, el crecimiento futuro y 10 % por fugas del sistema de aire.

Determinar la presión máxima (psi) necesaria para usar las herramientas de aire. No es necesario sumar los valores psi, como se hizo con los requisitos CFM, solo se tiene que utilizar el valor de la herramienta que requiere la mayor cantidad de presión.

Llevar la presión máxima, los pies cúbicos por minuto, las características del motor, y los requisitos de tamaño del receptor a su distribuidor local de compresor y comparar las características entre marcas. Hay que mantener el factor de calidad en mente, ciertamente se obtendrá el compresor de aire adecuado para cubrir sus necesidades.

Para saber qué tipo de compresor se utilizará, primero hay que investigar la demanda de aire a utilizar, luego se calcula el diámetro de las tuberías en conjunto con las pérdidas de presión por los accesorios.

Figura 9. **Diagrama de tipos de compresores**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Cálculo de caudal y presión

Para poder realizar los cálculos de caudales y presiones, se necesita conocer la información específica de la herramienta neumática a utilizar.

3.4.2. Caudal

Se realiza el listado de toda la herramienta que se utilizará, para promediar presión y caudal.

Tabla VII. **Caudal**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRESIÓN PSI	CFM
Pistola neumática	1	90	5,1
Pistola para pintar	1	95	6,5
Pistola de limpieza	1	90	1,5
Sumatoria de CFM			13,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Caudal máximo**

CONSUMO TOTAL	13,1
DESGASTE (5 %)	0,655
FUGAS (10 %)	1,31
EXPANSIÓN (30 %)	3,93
Sumatoria de CFM	18,995 aprox. 20 CFM

Fuente: elaboración propia.

3.4.2.1. Presión

La presión que se calcula tiene que incluir un factor de seguridad que permitirá el rendimiento óptimo de la herramienta.

$$P2 = P0 + P1$$

$$P2 = 95 + (95 \times 6\%)$$

$$P2 = 95 + 5,7$$

$$P2 = 100,7 \text{ aprox. } 101 \text{ PSI}$$

3.4.3. Cálculo de diámetro de la tubería

Se van a realizar varios cálculos con diferentes diámetros de tubería, para verificar qué diámetros presentan una caída de presión entre 3 % y 6 %, que serán las condiciones permisibles de caída de presión en el sistema.

- Con diámetro de tubería principal 1 ¼" y tubería de servicio de 1"

Tabla IX. Línea principal con diámetro de 1 ¼"

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	124,64	-----	124,64
CODOS	5	-----	3,45	17,25
TEES	4	-----	1,38	5,52
VÁLVULA DE GLOBO	8	-----	38,3	306,4
Sumatoria de long. equi.			453,81 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 2$ con un caudal $Q = 20$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (2 \times 453,81) / (7,12 \times 1000) = 0,127 \text{ PSI}$$

Tabla X. **Línea de servicio con diámetro de 1"**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	9,35	-----	9,35
CODOS	2	-----	2,62	5,24
TEES	1	-----	1,05	1,05
VÁLVULA DE GLOBO	1	-----	29,1	29,1
Sumatoria de long. equi.				44,74 pies

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 2,2$ con un caudal $Q = 10$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (2,2 \times 44,74) / (7,12 \times 1000) = 0,0138 \text{ PSI}$$

$$P_{\text{total}} = 0,127 + 0,0138 = 0,1408 \text{ PSI}$$

$$P = (P_{total} \times 100) / (P_{max}) = (0,1408 \times 100) / (101) = 0,1394 \%$$

$$P = 0,1394 \%$$

- Con diámetro de tubería principal 1" y tubería de servicio de ¾"

Tabla XI. **Línea principal con diámetro de 1"**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	124,64	-----	124,64
CODOS	5	-----	2,62	13,1
TEES	4	-----	1,05	4,2
VÁLVULA DE GLOBO	8	-----	29,1	232,8
Sumatoria de long. equi.				374,74 pies

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90 + 14,7) / (14,7) = 7,12 \quad R = (95 + 14,7) / (14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 8,7$ con un caudal $Q = 20$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1\,000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (8,7 \times 374,74) / (7,12 \times 1\,000) = 0,457 \text{ PSI}$$

Tabla XII. Línea de servicio con diámetro de 3/4 "

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	9,35	-----	9,35
CODOS	2	-----	2,06	4,12
TEES	1	-----	0,82	0,82
VÁLVULA DE GLOBO	1	-----	22,9	22,9
Sumatoria de long. equi.			37,19 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 7,8$ con un caudal $Q = 10$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1\,000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (7,8 \times 37,19) / (7,12 \times 1\,000) = 0,407 \text{ PSI}$$

$$P_{\text{total}} = 0,457 + 0,0407 = 0,4977 \text{ PSI}$$

$$P = (P_{\text{total}} \times 100) / (P_{\text{max}}) = (0,4977 \times 100) / (101) = 0,49 \%$$

$$P = 0,49 \%$$

- Con diámetro de tubería principal ¾” y tubería de servicio de ½”

Tabla XIII. **Línea principal con diámetro de ¾”**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	124,64	-----	124,64
CODOS	5	-----	2,06	10,3
TEES	4	-----	0,82	3,28
VÁLVULA DE GLOBO	8	-----	22,9	183,2
Sumatoria de long. equi.			321,42 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 30,4$ con un caudal $Q = 20$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1\,000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (30,4 \times 321,42) / (7,12 \times 1\,000) = 1,372 \text{ PSI}$$

Tabla XIV. **Línea de servicio con diámetro de ½”**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	9,35	-----	9,35
CODOS	2	-----	1,55	3,1
TEES	1	-----	0,62	0,62
VÁLVULA DE GLOBO	1	-----	17,3	17,3
Sumatoria de long. equi.			30,37 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 50,7$ con un caudal $Q = 10$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (50,7 \times 30,37) / (7,12 \times 1000) = 0,216 \text{ PSI}$$

$$P_{\text{total}} = 1,372 + 0,216 = 1,588 \text{ PSI}$$

$$P = (P_{\text{total}} \times 100) / (P_{\text{max}}) = (1,588 \times 100) / (101) = 1,57 \%$$

$$P = 1,57 \%$$

- Con diámetro de tubería principal 1/2" y tubería de servicio de 1/2"

Tabla XV. **Línea principal con diámetro de 1/2"**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	124,64	-----	124,64
CODOS	5	-----	1,55	7,75
TEES	3	-----	0,62	1,86
VÁLVULA DE GLOBO	8	-----	17,3	138,4
Sumatoria de long. equi.			272,65 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90+14,7)/(14,7) = 7,12 \quad R = (95+14,7)/(14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 202$ con un caudal $Q = 20$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1\,000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (202 \times 272,65) / (7,12 \times 1\,000) = 7,74 \text{ PSI}$$

Tabla XVI. **Línea de servicio con diámetro de ½"**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (PIES)	LONG. EQUI. (PIES)	LON. EQUI. TOTAL
TUBERÍA	1	9,35	-----	9,35
CODOS	2	-----	1,55	3,1
TEES	1	-----	0,62	0,62
VÁLVULA DE GLOBO	1	-----	17,3	17,3
Sumatoria de long. equi.			30,37 pies	

Fuente: elaboración propia.

$$R = (P. \text{ de las instalaciones} + P. \text{ atmosférica}) / (P. \text{ atmosférica})$$

$$R = (90 + 14,7) / (14,7) = 7,12 \quad R = (95 + 14,7) / (14,7) = 7,46$$

El factor de pérdida $F = 50,7$ con un caudal $Q = 10$ CFM

$$P = (\text{factor de pérdida}(F) \times \text{long. equi.}) / (\text{factor de tubería}(R) \times 1\,000) \text{ (PSI)}$$

$$P = (50,7 \times 30,37) / (7,12 \times 1\,000) = 0,216 \text{ PSI}$$

$$P_{\text{total}} = 7,74 + 0,216 = 7,956 \text{ PSI}$$

$$P = (P_{\text{total}} \times 100) / (P_{\text{max}}) = (7,956 \times 100) / (101) = 7,87 \%$$

$$P = 7,87 \%$$

Tabla XVII. **Comparación de red de tuberías**

Diámetro de tubería	Pérdida en porcentaje
Línea principal 1 ¼" y de servicio 1"	0,1394 %
Línea principal 1" y de servicio ¾"	0,49 %
Línea principal ¾" y de servicio ½"	1,57 %
Línea principal ½" y de servicio ½"	7,87 %

Fuente: elaboración propia.

Se utilizaran dos diámetros, la línea principal de ¾" y línea de servicio de ½", porque cumplen con el parámetro de pérdidas de 3 a 6 % y es el más económico.

3.5. **Potencia y caudal del compresor**

El caudal del compresor depende de la altura a nivel del mar que se encuentre, también influyen la humedad y la temperatura, el caudal teórico necesario es de 18,9 CFM, a una altura de 1 500 m sobre el nivel del mar disminuye la presión atmosférica a 16 %; para compensar esa posible pérdida se le aumenta al caudal del compresor, se necesitaría de 22 CFM o mayor a este.

Caudal del cabezal:	22 CFM
Potencia del motor:	5 HP
Volumen del acumulador:	60 galones
Presión del compresor:	90 – 120 PSI
Refrigeración:	por aire

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Plan de capacitación de personal

Son acciones que aportan las competencias o capacidades que requiere el recurso humano para cumplir los objetivos fijados.

Para poder ser competitivos no solo basta con tener equipo y maquinaria de alta tecnología, también es necesario tener las competencias para manipularlos correctamente y utilizarlos de la mejor manera, sacando el mayor provecho posible con el cuidado que el equipo requiere.

Los planes de capacitación de los empleados y trabajadores son el recurso más valioso de toda la actividad de recursos humanos; de allí la necesidad de invertir en tales planes al proporcionarlos de manera continua y sistemática, con el objetivo de mejorar el conocimiento y las habilidades del personal que labora en una empresa.

Desarrollar las capacidades del trabajador proporciona beneficios tanto para estos, como para la organización. A los primeros los ayuda a incrementar sus conocimientos, habilidades y cualidades; a la organización la favorece al incrementar los costos-beneficios.

La capacitación hará que el trabajador sea más competente y hábil, al utilizar y desarrollar sus habilidades. De esta manera, la organización se volverá más fuerte, productiva y rentable.

En el marco de estos aspectos, se analizará en primer lugar, qué es un plan de capacitación. En segundo término, cómo es un plan de capacitación; el proceso de elaboración, la determinación de las necesidades, la programación y diseño de un plan de capacitación. Tercero, el desarrollo de un plan de capacitación; que consta de cinco fases, a saber: planeación, organización, ejecución, evaluación y seguimiento.

Estas propician en cada líder y colaborador la facilidad de cumplir con los desempeños esperados diarios, mensual y anualmente.

Este es un diseño real del Plan de capacitación de personal para el taller automotriz GP Revolutions.

4.1.1. Definir plan de capacitación

Es el documento que responde a las necesidades de una organización en relación a enseñanzas para sus colaboradores. Este corresponde a las expectativas que se quieren satisfacer, efectivamente, en un determinado plazo, por lo cual está vinculado al recurso humano, al recurso físico o material disponible y a las disponibilidades de la empresa.

El plan de capacitación es una acción planificada cuyo propósito general es preparar e integrar al recurso humano en el proceso productivo, mediante la entrega de conocimientos, desarrollo de habilidades y actitudes necesarias para el mejor desempeño en el trabajo.

La capacitación en la empresa debe brindarse en la medida necesaria, haciendo énfasis en los aspectos específicos y necesarios para que el empleado pueda desempeñarse eficazmente en su puesto.

4.1.2. Interpretación del concepto del plan de capacitación

El plan de capacitación conlleva al mejoramiento continuo de las actividades laborales. Esto con el objetivo de implementar formas óptimas de trabajo. En este sentido, el plan va dirigido al perfeccionamiento técnico y teórico del empleado y el trabajador; para que el desempeño sea eficiente en función de los objetivos de la empresa. Se busca producir resultados laborales de calidad, de excelencia en el servicio; por otra parte, proveer y solucionar problemas potenciales dentro de la organización.

A través del plan de capacitación, el nivel del empleado se adecúa a los conocimientos, habilidades y actitudes que son requeridos para un puesto de trabajo.

4.1.3. Descripción del proceso de elaboración del plan de capacitación

El plan de capacitación comprende dos modos; el interno y el externo. El primero se realiza dentro del mismo grupo de trabajo, se conoce también como capacitación inmanente. El segundo, un agente externo a la empresa brinda los conocimientos que se requieren, esta se denomina capacitación inducida. Ambos métodos son efectivos y se utilizan según las circunstancias lo requieran.

El plan de capacitación está constituido por cinco pasos, que se mencionan a continuación:

- Detección y análisis de las necesidades: se identifican fortalezas y debilidades en el ámbito laboral, es decir, las necesidades de conocimiento y desempeño.
- Diseño del plan de capacitación: se elabora el contenido del plan, folletos, libros, actividades, entre otras.
- Validación del plan de capacitación: se eliminan los defectos del plan haciendo una presentación a un grupo pequeño de empleados.
- Ejecución del plan de capacitación: se dicta el plan de capacitación a los trabajadores.
- Evaluación del plan de capacitación: se determinan los resultados del plan, los pros y los contras del mismo.

4.1.4. Proceso de elaboración del plan de capacitación

Para la elaboración de un plan de capacitación se consideran, por lo menos, tres aspectos:

- Distribución personalizada de los recursos: se enfoca en lograr que la mayor cantidad de empleados participen en el plan de capacitación. Es necesario fijar el presupuesto disponible para la capacitación.
- Distribución centrada en la capacitación específica: está destinada a resolver las debilidades de la organización. Por ello, las acciones se orientan a temas que pueden estar alejados de los intereses de los empleados.
- Distribución orientada a la capacitación específica dando razón de la capacitación general: el proceso de detección de necesidades da cuenta

de las fortalezas, en la medida que se han considerado todas las perspectivas y expectativas de la organización.

Los planes de capacitación exigen una planificación que incluye los siguientes elementos:

- Abordar una necesidad específica.
- Definir de manera evidente el objetivo de la capacitación.
- Dividir el trabajo que se va a desarrollar, en módulos o ciclos.
- Elegir el método de capacitación según la tecnología que se posee.
- Definir los recursos para implementar la capacitación. Tipo de instructor, recursos audiovisuales, equipos o herramientas, manuales.
- Definir el personal que va a ser capacitado:
 - Número de personas
 - Disponibilidad de tiempo
 - Grado de habilidad, conocimientos y actitudes
 - Características personales
- Determinar el sitio donde se efectuará la capacitación, si es dentro o fuera de la empresa.
- Establecer el tiempo y la periodicidad de la capacitación.
- Calcular la relación costo-beneficio del plan de capacitación.
- Controlar y evaluar los resultados del plan verificando puntos críticos que requieran ajustes o modificaciones.

4.1.5. Determinación de necesidades de capacitación

Según la jerarquía de las necesidades de Maslow, es posible establecer un conjunto de necesidades que pueden ser consideradas para la elaboración del plan de capacitación. Entre tales necesidades se tienen:

- De autorrealización: realización potencial, utilización plena de los talentos individuales, entre otras.
- De estima: reputación, reconocimiento, auto respeto, amor.
- Sociales: amistad, pertenencia a grupos.
- De seguridad: protección contra el peligro o las privaciones.

Dentro de una organización, la detección de necesidades de capacitación está conformada por tres aspectos:

- De la organización: centrada en la determinación de los objetivos de la empresa, sus recursos y su relación con el objetivo.
- De las funciones: se enfoca sobre el trabajo. Revela las capacidades que debe tener cada individuo dentro de la organización, en términos de liderazgo, motivación, comunicación, dinámicas de grupos.
- De las personas: considera las fortalezas y las debilidades en el conocimiento, las actitudes y las habilidades que los empleados poseen.

A partir de este conjunto de necesidades, el contenido del plan de capacitación puede establecer elementos fundamentales para abordar; entre los cuales se cuentan:

- Las necesidades de las personas.
- El crecimiento individual.

- La participación como aprendizaje activo.
- La capacidad para dar respuestas a necesidades de la realidad y la posibilidad de aplicarlas a la vida cotidiana.
- Producir una mayor interacción e intercambio entre las personas.
- Preparar al personal para la ejecución de las diversas tareas particulares de la organización.
- Proporcionar oportunidades para el continuo desarrollo personal.
- Propiciar un cambio de actitud en las personas creando un clima más satisfactorio entre los empleados.
- Aumentar la motivación y hacerlos más receptivos a las técnicas de supervisión y gerencia.
- El aprendizaje eficiente para la utilización de técnicas adecuadas.
- Ayudar al individuo en la solución de problemas y en la toma de decisiones.
- Aumentar la confianza y la actitud asertiva.
- Subir el nivel de satisfacción con el puesto.
- Permitir el logro de metas individuales.
- Eliminar los temores a la incompetencia o a la ignorancia individual.

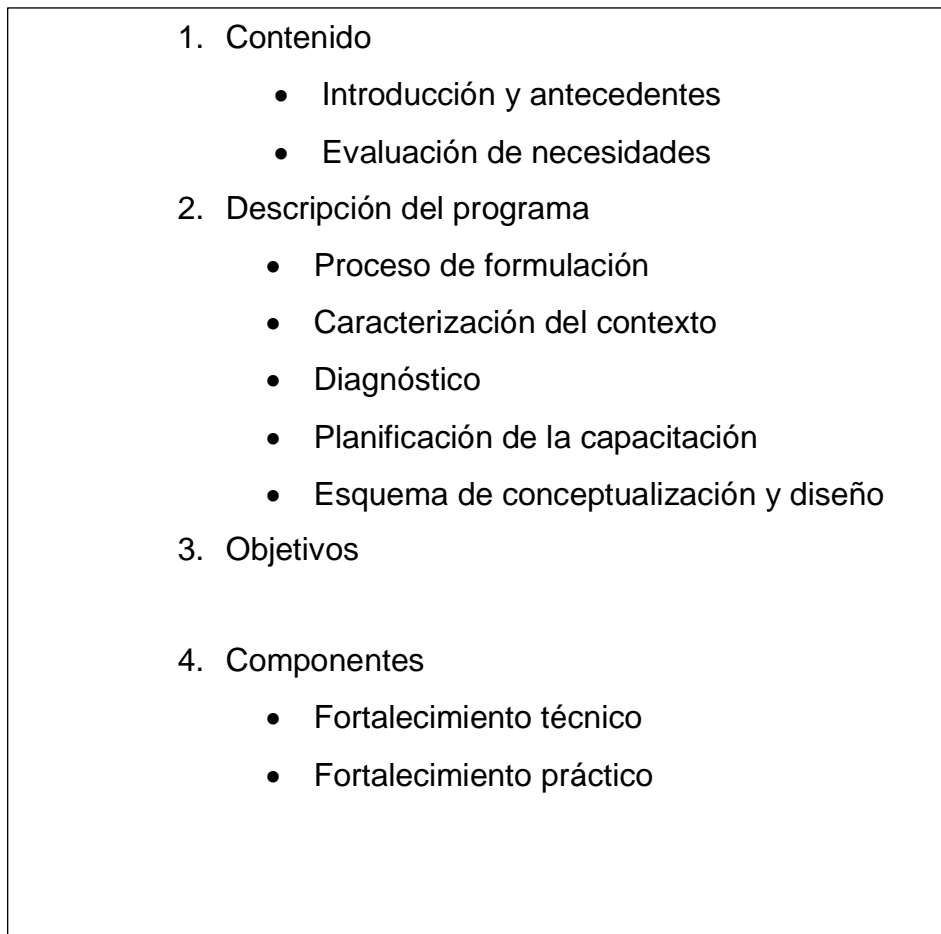
4.1.6. Programación y desarrollo de la capacitación

Un plan de capacitación intenta enseñar a alguien un nuevo conocimiento, para acrecentar el valor de esa persona en la organización. Esto en función de los resultados del análisis de las necesidades.

En este sentido, un plan de capacitación se enfocará, al menos, en cuatro cuestiones, a saber:

- Objetivos de la capacitación.
- Deseo y motivación de la persona.
- Principios del aprendizaje.
- Características de los instructivos.
- Un plan de capacitación debe estar estructurado según se muestra en la figura 10.

Figura 10. **Plan de capacitación**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Capacitación en sistemas de aire comprimido

Este plan de capacitación de personal ha sido elaborado para atender el desarrollo de las competencias mínimas necesarias para la correcta manipulación de aire comprimido en el taller automotriz GP Revolutions, para alcanzar el desempeño necesario de cada participante, mensual o anual, por proceso, área o departamento.

4.3. Estructura de la capacitación en sistemas de aire comprimido

Para que sea eficiente el plan de capacitación necesita formas de enseñanza y ser medido en función de tiempo y conocimiento.

4.3.1. Metodología

Las opciones metodológicas a utilizar son:

- Seminario taller: combina saber y saber hacer.
- Taller de entrenamiento: refuerza el saber hacer cuando ya se tienen bases adecuadas del tema: sistemas de aire comprimido.
- Charla de instrucción: actualiza, precisa o profundiza el saber del tema: sistemas de aire comprimido.

4.3.2. Intensidad de tiempo

- Seminario taller: 4-8 horas, promedio
- Taller de entrenamiento: 2-4 horas
- Charla de instrucción: 2 horas

4.3.3. Evaluación de personal

- Pruebas teóricas a cerca de los temas impartidos
- Pruebas prácticas con el método, ¿qué pasaría si?

4.4. Plan de capacitación del personal para taller automotriz GP Revolutions (sistemas de aire comprimido)

El plan de capacitación de personal para taller automotriz GP Revolutions, cuenta con un set de objetivos, jerarquizados de la siguiente manera:

4.4.1. Objetivo estratégico

Contar con un personal altamente capacitado en el uso de sistema de aire comprimido y equipo neumático.

4.4.2. Objetivo general

Manejo eficiente del personal a cargo del sistema de aire comprimido.

4.4.3. Temario

Con la finalidad de ser objetivos en la capacitación se abordarán los siguientes temas:

- Historia del aire comprimido
- Principios básicos de los sistemas neumáticos
- Composición del aire
- Tipos de compresor

- Accesorios
- Utilidades del aire comprimido
- Uso eficiente del aire comprimido
- Ventajas del uso de aire comprimido
- Precauciones con el uso de aire comprimido
- Mantenimiento al sistema de aire comprimido

4.4.4. Agenda

El tiempo pre determinado para capacitar al personal del taller es una vez a la semana durante un mes, dividido en 4 sesiones que se distribuirán de la siguiente manera:

- Seminario taller abordando los temas 1 al 5 (8horas)
- Seminario taller abordando los temas 6 al 8 (8horas)
- Taller de entrenamiento abordando los temas 9 y 10 (4 horas)
- Charla con resolución de dudas (2 horas)
- Evaluación (2 horas)

CONCLUSIONES

1. Se debe considerar la aplicación que el aire comprimido tendrá, debido a que este puede ser utilizado en industrias, alimentación, hospitales, automatización y reparación de automóviles, siendo prioritario conocer las necesidades para el diseño eficiente del sistema de aire comprimido.
2. Para determinar el caudal mínimo que el compresor debe suministrar al sistema de aire comprimido, se debe sumar el total de aire consumido por todas las herramientas utilizadas en el taller.
3. El uso del diámetro adecuado en la tubería de conducción de aire comprimido brinda la presión y el caudal de aire óptimo al sistema, esto se verá reflejado en eficiencia energética y ahorro económico en la generación de aire comprimido.
4. Es indispensable que el valor de la presión del sistema de aire comprimido este por encima de la presión con mayor valor de todas las herramientas, para que puedan ser accionadas sin problemas.

RECOMENDACIONES

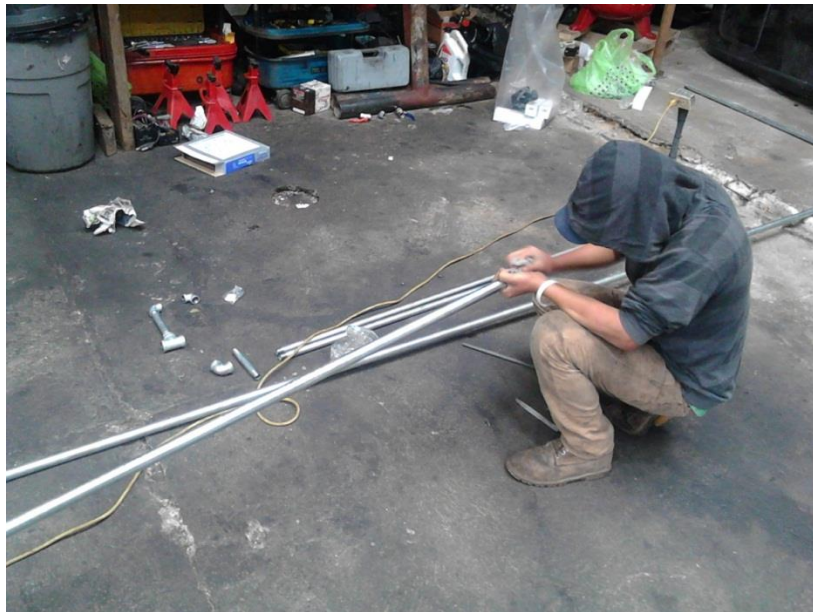
1. Utilizar el diámetro interno de la tubería principal de $\frac{3}{4}$ " y la línea de servicio de $\frac{1}{2}$ ", con estos diámetros la caída presión es aceptable y es el diámetro más económico que cumple con el porcentaje mínimo de pérdida de presión que se puede utilizar.
2. Utilizar tubería de hierro galvanizado, este material brindará resistencia a golpes ocasionados por mala manipulación de la herramienta, vibraciones, oxidación y posibles incendios.
3. Utilizar en las tuberías de servicio cuellos de ganso, para separar el agua condensada que se encuentre en el sistema, que será retenido por el mismo efecto de la gravedad.
4. Dejar una pendiente a lo largo de la tubería del 1 al 2 % en el sentido de la circulación, esto ayudará a que el condensado llegue a la parte más baja del sistema y pueda ser drenado.
5. Instalar una trampa de agua en la salida del compresor y unidades de mantenimiento en las tomas de aire, esto impedirá el flujo de condensado a la herramienta de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER ROYO. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Gustavo Gili, 1977. 312 p.
2. GARCÍA LÓPEZ, Antonio. *Proyecto básico y de la ejecución de la edificación y nuevas instalaciones de Repuestalia S.L.* Sevilla: Universidad de Sevilla, 2010. 151 p.
3. MORENO, M. *Introducción a la neumática*. Buenos Aires: Coordinación de promoción de programas regionales, 2005. 156 p.
4. THOMPSON, Richard; E.; MANNING, Francis. *Oilfield processing of petroleum*. Oklahoma: Pennwell, 1991. 420 p.
5. WALLER, TD; WARNER, H. *Neumática nivel básico*. 9a ed. Washington: Sahun, 1997. 121 p.

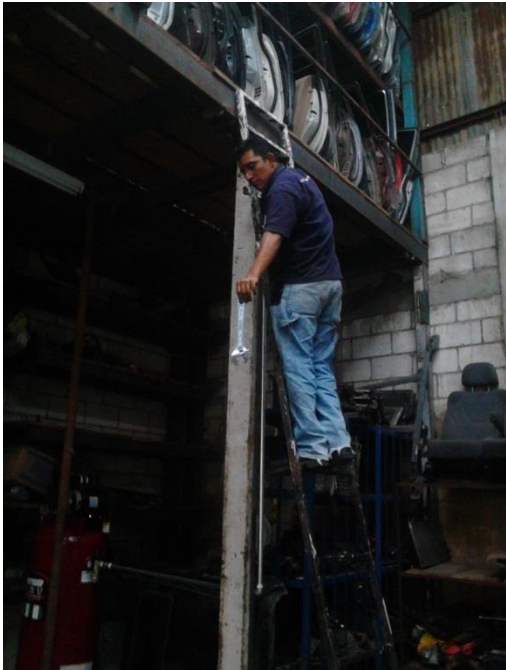
APÉNDICES

Apéndice 1. Preparación de tubería



Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 2. **Instalación de tubería**



Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 3. Líneas de servicio



Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 4. Línea principal



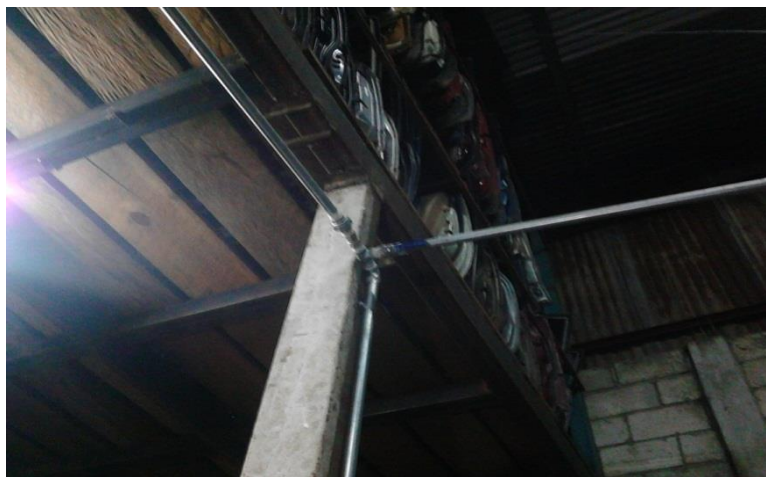
Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 5. **Cuello de ganso**



Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 6. **Nodo línea principal**



Fuente: Gp Revolutions.

Apéndice 7. **Instalación finalizada**



Fuente: Gp Revolutions.