

**Universidad Internacional del Ecuador**



**Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

**Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

**Diseño de una Red Neumática para Servicio del Taller Automotriz Auto Computarizado  
Santana**

**Roberto Carlos Campaña Rojas**

**Director: Ing. Fredy Morquecho Andrade MSc.**

**Guayaquil, Enero 2019**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD**

Yo, **ROBERTO CARLOS CAMPAÑA ROJAS**, declaro bajo juramento, que la investigación referida en el presente trabajo de titulación es de mi autoría; que no ha sido plagiado ni presentado anteriormente por ningún autor o profesional; solo consultado en la bibliografía detallada en el índice.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), para que, de estimarlo pertinente lo divulgue en la forma que considere adecuado, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual; reglamento y leyes.

---

**Roberto Carlos Campaña Rojas**  
**C.I: 0918232554**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Yo, Ing. FREDY LEONARDO MORQUECHO ANDRADE, doy fe que el trabajo de titulación **Diseño de una Red Neumática para Servicio del Taller Automotriz “Auto Computarizado Santana”**, realizado por el estudiante ROBERTO CARLOS CAMPAÑA ROJAS ha sido tutelado y revisado periódicamente, acatando las normas estatutarias implantadas por la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), en el Reglamento de Estudiantes.

Dicha investigación constituye un trabajo de contenido técnico veraz que ayudará a estudiantes, trabajadores y profesionales a aplicar sus conocimientos de manera adecuada, por lo tanto recomiendo su publicación. El mencionado estudio ha sido impreso en su totalidad y entregado a la biblioteca de la institución para su custodia y difusión.

Guayaquil, Enero de 2019

---

Ing. Fredy Morquecho Andrade  
Director de Proyecto

## DEDICATORIA

Ofrendo este trabajo ante y sobre todo a Dios que me ha bendecido en conocimiento, fortaleza y voluntad para no desmayar pese a todas las dificultades presentadas durante mis estudios. Por otorgarme la vida y la sabiduría, por ser la fuente de mi inspiración y mi baluarte en los momentos difíciles, por guiarme a lo largo de mi carrera y por contribuir a que culmine con éxito mis estudios. Por darme la oportunidad de educarme, por permanecer a mi lado, por los laureles, por fortalecer mi corazón e irradiar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y motivación de estudio.

A mi abuela Bélgica Cruz Triviño (+) que siempre anheló verme consagrado como profesional, por ser mi guía y mentora estudiantil y de vida, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor y comprensión. Gracias a sus sabios consejos, a sus ejemplos de perseverancia y tenacidad que la caracterizaron y que siempre me infundió. Por último, por su constante impulso para que siga adelante.

A mi madre por su gran esfuerzo y apoyo al darme la oportunidad de tener una excelente educación, motivación para vivir con dignidad, preocupación por mi salud, por estar siempre a mi lado y por impulsar la culminación de mis estudios profesionales.

También dedico esta obra a toda mi familia por todo el amor otorgado, cariño y apoyo que siempre me han brindado.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida, guiarme y permitirme finalizar mis estudios con éxito. A mi madre que siempre creyó y confió en mí, alentándome a seguir adelante, a vencer todos los obstáculos presentados a lo largo de mi carrera estudiantil; también a mi hermano, por toda su paciencia y apoyo.

También a mi abuela Bélgica Cruz Triviño (+) por su infinito e incondicional amor, por sus consejos y deseo imperecedero para que logre los objetivos propuestos, y al resto de mi familia que durante toda mi vida han sido parte fundamental de mi crecimiento y educación.

A mi profesor y tutor por sus sabios consejos en la correcta realización de esta tesis y por la confianza depositada en mí.

Al Sr. Francisco Ricardo Santana Plúa por su invaluable ayuda al permitirnos realizar estos juicios tecnológicos en su local de trabajo.

Y por último, a todos aquellos que han colaborado generosamente en la ejecución de esta investigación con sus comentarios y sugerencias.

## ÍNDICE GENERAL

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Sistematización del problema.....	3
1.5 Objetivos de la investigación.....	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Justificación y delimitación de la investigación.....	4
1.6.1 Justificación.....	4
1.6.2 Justificación metodológica.....	4
1.6.3 Justificación práctica.....	4
1.6.4 Delimitación temporal.....	4
1.6.5 Delimitación geográfica.....	5
1.6.6 Delimitación del contenido.....	6
1.6.7 Reseña histórica del establecimiento de servicio automotriz.....	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1 Características generales del sector automotriz.....	8
2.1.1 Servicios del sector automotriz.....	8
2.1.2. Una clara estrategia de servicio.....	9
2.1.3 Personal atento al cliente.....	9
2.1.4 Sistemas amables para el cliente.....	10
2.1.5 Estrategia del servicio.....	10
2.1.6 Servicio de reparación y mantenimiento.....	10
2.2 Neumática.....	11
2.2.1 Neumática básica.....	12
2.2.2 Aplicaciones neumáticas.....	12
2.3 Magnitudes físicas fundamentales que intervienen en la neumática.....	13
2.3.1 Presión.....	13
2.3.2 Velocidad.....	15
2.3.3 Temperatura.....	15
2.3.4 Masa.....	17
2.3.5 Caudal.....	17
2.4 Leyes de los gases.....	17

2.5 Aire comprimido .....	19
2.6 Componentes de control del sistema de aire comprimido.....	21
2.7 Características del sistema de aire comprimido.....	23
2.7.1 Ventajas.....	23
2.7.2 Desventajas.....	23
2.8 Elementos de la red neumática.....	24
2.8.1.1 Compresor de pistón de una etapa o reciprocante.....	24
2.8.1.2 Compresor de pistón de dos etapas.....	26
2.8.1.3 Compresor de paletas.....	27
2.8.1.4 Compresor helicoidal.....	27
2.8.1.5 Compresor de tornillo seco.....	28
2.8.1.6 Compresor de tornillo lubricado.....	29
2.8.2 Depósito o recipiente cerrado de aire comprimido.....	31
2.8.3 Decantador o separador de agua.....	32
2.8.4 Acumulador de presión.....	33
2.8.5 Red de distribución de aire por el taller.....	33
2.8.5.1 Tuberías neumáticas.....	33
2.8.5.2 Uniones neumáticas.....	36
2.8.6 Grupo acondicionador o unidad de mantenimiento.....	38
2.8.7 Actuadores.....	38
2.8.8 Elementos de control de flujo o de mando.....	39
2.8.9 Mangueras.....	41
2.8.10 Conectores de enchufe rápido de tipo engatillable.....	43
2.9 Simbología y terminología.....	44
2.9.1 Colores de identificación de tuberías.....	44
2.9.2 Terminología.....	44
2.9.3 Clasificación de los fluidos.....	44
2.9.4 Clave de fluidos.....	45
2.9.5 Símbolos neumáticos.....	46
2.9.6 Esquema neumático.....	47
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>48</b>
<b>DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO.....</b>	<b>48</b>
3.1 Parámetros de operación.....	48
3.1.1 Cálculo de la presión de trabajo.....	48
3.1.2 Cálculo del consumo de aire.....	49
3.1.3 Medición del aire requerido.....	50
3.1.4 Calidad del aire.....	51
3.2 Tratamiento del aire.....	52
3.2.1 Vapor de agua en el aire comprimido.....	55
3.2.2 Aceite en el aire comprimido.....	54
3.2.3 Microorganismos en el aire comprimido.....	54
3.2.4 Filtros.....	55
3.2.5 Refrigerador posterior.....	57
3.2.6 Separador de humedad.....	57
3.2.7 Separación de aceite / agua.....	57
3.3 Recuperación de energía.....	57
3.3.1 compresor.....	59

3.3.2 Ventilación de la sala de compresores.....	60
3.4 Distribución del aire comprimido.....	61
3.5 Emplazamiento y diseño.....	63
3.5.1 Fundición o base de concreto.....	63
3.6 Depósito de aire.....	66
3.6.1 Diseño de la red de aire comprimido.....	67
3.6.2 Dimensionado de la red de aire comprimido.....	67
3.6.3 Medición del caudal.....	69
3.7 Instalación eléctrica.....	70
3.7.1 Selección de motores eléctricos.....	70
3.7.2 Métodos de arranque.....	71
3.7.3 Tensión de mando.....	73
3.7.4 Protección contra cortocircuito.....	73
3.7.5 Cables.....	73
3.7.6 Compensación de fase.....	74
3.8 Sonido.....	75
3.8.1 Absorción.....	76
3.8.2 Constante de la sala.....	76
3.8.3 Reverberación.....	77
3.8.4 Relación entre nivel de potencia y nivel de presión acústica.....	77
3.8.5 Mediciones de sonido.....	78
3.8.6 Interacción de varias fuentes de sonido.....	78
3.8.7 Reducción del ruido.....	79
3.8.8 Ruido dentro de las instalaciones de compresores.....	79
3.9 Costo.....	80
3.9.1 Costo de producción de aire comprimido.....	80
3.9.1.1 Asignación de costos.....	81
3.9.2 Oportunidades de ahorro.....	82
3.9.2.1 Potencia requerida.....	82
3.9.2.2 Presión de trabajo.....	82
3.9.2.3 Consumo de aire.....	83
3.9.2.4 Método de regulación.....	84
3.9.2.5 Mantenimiento.....	85
3.9.2.6 Planificación del mantenimiento.....	86
3.9.2.7 Equipo auxiliar.....	86
3.10 Cálculo de dimensión de la instalación de aire comprimido.....	87
3.10.1 Datos de entrada.....	87
3.10.2 Recomendaciones para calcular el caudal de un compresor.....	87
3.10.3 Determinar el caudal en función del proceso.....	88
3.10.3.1 Tasa de uso.....	89
3.10.3.2 Factor de simultaneidad.....	90
3.10.3.3 Factor de riesgo.....	91
3.10.3.4 Condiciones ambientales para la selección.....	94
3.10.3.5 Especificaciones adicionales.....	94
3.10.3.6 Selección de componentes.....	95
3.10.3.7 Dimensionamiento del compresor.....	95
3.10.3.8 Selección final del compresor.....	95

3.10.3.9 Accesorios complementarios del depósito de aire comprimido.....	96
3.10.4 Cálculo de la red de tuberías del sistema de aire comprimido.....	97
3.10.4.1 Tipos de redes neumáticas.....	97
3.10.4.2 Materiales de tuberías para redes de aire comprimido.....	98
3.10.4.3 Recomendaciones en la instalación de la red de tuberías.....	100
3.10.4.4 Cálculo de la red de aire comprimido.....	100
3.10.4.5 Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones.....	100
3.10.4.6 Esquemas de la red de distribución de aire comprimido.....	103
3.10.5 Suministro e instalación eléctrica.....	106
3.10.5.1 Suministro eléctrico seguro.....	106
3.10.5.2 Cálculo de la potencia instalada del motor eléctrico.....	107
3.10.5.3 Métodos de arranque.....	108
3.10.5.4 Determinación de los conductores de fuerza.....	112
CAPÍTULO IV.....	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
4.1 Conclusiones.....	113
4.2 Recomendaciones.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	120
4.3 Glosario técnico.....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de las instalaciones del taller automotriz auto computarizado santana.....	5
Figura 2: Vista frontal del taller mecánico automotriz.....	7
Figura 3: Dimensiones de calidad.....	9
Figura 4: Triángulo de servicio.....	10
Figura 5: Relación presión-fuerza-superficie.....	14
Figura 6: Diagramas de fases P-V-T para un gas ideal.....	19
Figura 7: Presóstato.....	22
Figura 8: Presóstato combinado Danfoss.....	22
Figura 9: Componentes principales del compresor y tratamiento del aire en una red neumática....	24
Figura 10: Compresores de recipiente horizontal y vertical.....	25
Figura 11: Funcionamiento del compresor de una etapa.....	26
Figura 12: Compresor de dos etapas.....	26
Figura 13: Compresor de paletas.....	27
Figura 14: Compresor Helicoidal.....	28
Figura 15: Compresor de tornillo seco.....	29
Figura 16: Funcionamiento interno del compresor de tornillo lubricado.....	30
Figura 17: Recipientes de presión.....	32
Figura 18: Decantador de agua.....	32
Figura 19: Acumulador de aire comprimido.....	33
Figura 20: Instalación de tuberías.....	35
Figura 21: Accesorios para cañerías PVC.....	36
Figura 22: Simulación de red neumática.....	37
Figura 23: Instalación de accesorios en tubería PVC de presión.....	37
Figura 24: Componentes del grupo acondicionador.....	38
Figura 25: Simbología cilindros de simple y doble efecto.....	39

Figura 26: Símbolo y representación de una válvula de 2 vías y 2 posiciones.....	40
Figura 27: Símbolo y representación de una válvula de 3 vías y 2 posiciones.....	40
Figura 28: Símbolo y representación de una válvula AND.....	40
Figura 29: Símbolo y representación de una válvula de 5 vías y 2 posiciones.....	41
Figura 30: Manguera en espiral de poliamida y poliuretano extensible.....	42
Figura 31: Tubería estándar O.D.....	42
Figura 32: Manguera Azul Poliuretano Neumática Festo.....	42
Figura 33: Acoplamiento y boquilla con articulación giratoria de doble protección.....	43
Figura 34: Tipos de conectores neumáticos.....	43
Figura 35: Consumo de energía por hora del compresor lubricado por aceite y sin aceite.....	52
Figura 36: Plano de las instalaciones civiles del taller de servicio automotriz.....	64
Figura 37: Corriente de arranque con diferentes métodos de arranque.....	71
Figura 38: Esquema simplificado de conexión del motor eléctrico al suministro eléctrico.....	73
Figura 39: Potencia reactiva $Q_c$ para aumentar el factor de potencia del motor $\cos(\varphi)$ a 1.....	73
Figura 40: Requisitos de energía eléctrica de un compresor.....	82
Figura 41: Afectación a la presión de trabajo debido a la caída de presión.....	83
Figura 42: Formas de mantenimiento.....	85
Figura 43: Compresor vertical con características afines al calculado.....	93
Figura 44: Red abierta de un circuito para aire comprimido.....	97
Figura 45: Red cerrada de un circuito para aire comprimido.....	97
Figura 46: Forma ideal de instalar tuberías de una red aire comprimido.....	99
Figura 47: Diseño de la malla neumática del taller mecánico automotriz.....	103
Figura 48: Ubicación de los componentes de la red neumática en el área del taller mecánico.....	104
Figura 49: Configuraciones ideales de conexiones de transformadores.....	106
Figura 50: Métodos de arranque de un motor bifásico.....	107
Figura 51: Esquema de fuerza para el motor de 5 HP.....	108
Figura 52: Esquema de control para el motor de 5 HP.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades de medida de presión y sus factores de conversión.....	15
Tabla 2: Tabla de conversión según escalas de temperaturas.....	16
Tabla 3: Localización de unidades y dispositivos de la red neumática.....	24
Tabla 4: Localización de componentes del compresor de tornillo lubricado.....	30
Tabla 5: Clasificación de fluidos.....	45
Tabla 6: Código de fluidos para equipos de técnica de fluidos.....	45
Tabla 7: Símbolos neumáticos.....	48
Tabla 8: Presiones que intervienen en el proyecto.....	50
Tabla 9: Nomograma indicativo del diámetro de tubería más apropiado.....	69
Tabla 10: Carga permitida en % de la potencia nominal del motor eléctrico.....	70
Tabla 11: División de costos entre 3 compresores y sus equipos auxiliares.....	82
Tabla 12: Pequeños consumidores de aire.....	88
Tabla 13: Máquinas automáticas.....	89
Tabla 14: Proceso general.....	89
Tabla 15: Tasa de uso.....	89
Tabla 16: Caudal total de equipos consumidores.....	91
Tabla 17: Relación entre fugas y consumo de energía para orificios pequeños a 7 bar de presión..	92
Tabla 18: Caudal final de equipos consumidores.....	92
Tabla 19: Capacidades de tanques de almacenamiento de aire comprimido en litros y galones.....	93
Tabla 20: Materiales de las tuberías.....	99

Tabla 21: Especificaciones de características técnicas de tuberías pvc.....	103
Tabla 22: Valor de corriente nominal para conductores 14/12/10 AWG.....	113

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ley general de los gases.....	18
Ecuación 2: Flujo de ventilación.....	60
Ecuación 3: Longitud total de tubería.....	62
Ecuación 4: Volumen del depósito para compresores con regulación todo/nada.....	66
Ecuación 5: Volumen para compresores con control de velocidad variable.....	67
Ecuación 6: Caída de presión.....	67
Ecuación 7: Nivel de potencia acústica.....	75
Ecuación 8: Nivel de presión acústica.....	76
Ecuación 9: Constante de la sala.....	77
Ecuación 10: Coeficientes de absorción.....	77
Ecuación 11: Relación entre nivel de potencia acústica y nivel de presión acústica.....	78
Ecuación 12: Suma de dos niveles sonoros.....	79
Ecuación 13: Tasa de uso.....	89
Ecuación 14: Factor de simultaneidad.....	91
Ecuación 15: Longitud total de la red.....	100
Ecuación 16: Diámetro interno de la tubería.....	101
Ecuación 17: Cálculo de la potencia instalada del motor eléctrico.....	107

## RESUMEN

La presente investigación se refiere al Diseño de una Red Neumática para Servicio del Taller Automotriz “Auto Computarizado Santana” mediante un estudio de factibilidad que tiende a mejorar la calidad del servicio a los usuarios del establecimiento artesanal multimarca.

Este ensayo consta de cuatro capítulos, los cuales se encuentran ordenados en forma ascendente desde la creación de una micro empresa hasta el desarrollo de una factoría implementada tecnológicamente con herramientas, equipos y una funcional red de aire comprimido.

El capítulo I trata el “análisis de la problemática” que incluye el planteamiento del problema, su sistematización, objetivos, justificación, ubicación y la reseña histórica que constituyen los antecedentes del espacio laboral en estudio.

El capítulo II presenta el “marco contextual de la investigación” que abarca las características y servicios automotrices, neumática, magnitudes físicas elementales, leyes de gases, aire comprimido y componentes de la red neumática y su interpretación gráfica. Estos criterios nos introducen al inicio de la indagación técnica.

El capítulo III implementa el “diseño de las instalaciones de aire comprimido”, este apartado desarrolla propiamente el proyecto, incluye todo lo relacionado al compresor, las instalaciones, mantenimiento, operación y costos del estudio.

El capítulo IV resume las principales conclusiones y recomendaciones para que el proyecto se manifieste racional, lucrativo, operacional y económico.

El último capítulo nos lleva a obtener las conclusiones y recomendaciones una vez culminado el proyecto.

## **ABSTRACT**

The present research refers to the Design of a Pneumatic Network for Service of the Automotive Workshop "Auto Computarizado Santana" by means a feasibility study that tends to improve the service quality to the users of the multi-brand craft establishment.

This work consists of four chapters, which are arranged in ascending order from the creation of a micro company to the development of a factory technologically implemented with tools, equipment and a functional network of compressed air.

Chapter I deals with the "analysis of the problem" that includes the approach of the problem, its systematization, objectives, justification, location and the historical review that constitute the background of the labor space under study.

Chapter II presents the "contextual framework of research" that covers automotive characteristics and services, pneumatics, elementary physical quantities, gas laws, compressed air and pneumatic network components and their graphic interpretation. These criteria introduce us to the beginning of the technical inquiry.

Chapter III implements the "design of compressed air facilities". This section develops the project itself, includes everything related to the compressor, facilities, maintenance, operation and study costs.

Chapter IV summarizes the main conclusions and recommendations for the project to be rational, lucrative, operational and economic.

# CAPÍTULO I

## ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

### 1.1 Introducción.

La neumática es una técnica que se puede emplear para servicios y automatización de procesos industriales. De los antiguos griegos procede la expresión “pneuma” que designa el viento. Como derivación de la palabra “pneuma” se obtuvo el concepto “neumático” que trata los movimientos y procesos del aire. El primero que se ocupó de la utilización del aire comprimido como elemento de trabajo fue el griego “Ktesibios”.

La irrupción verdadera y generalizada de la neumática en la industria no se inició hasta que llegó a hacerse más acuciante la exigencia de la automatización en los servicios y procesos de trabajo. En la actualidad no se concibe una moderna revolución y explotación industrial sin el aire comprimido.

La técnica del aire comprimido pone de manifiesto que desde hace mucho tiempo no es suficiente con saber cómo se fabrican, instalan y ponen en funcionamiento compresores de alto rendimiento y la estructura y función de los componentes que puedan intervenir en un equipo.

Para utilizar el aire comprimido como un medio energético eficiente, es necesario considerar la estación de compresores en su conjunto para comprender las distintas correlaciones e interacciones dentro de ella, así como su conexión con el resto del sistema de utilización y/o producción industrial.

Por eso, muchos fabricantes respaldan la formación de sus clientes. Para hacerlo, utilizan distintas vías. Expertos y técnicos calificados y con experiencia se trasladan durante todo el año y a todos los continentes con el fin de compartir sus conocimientos sobre la producción y el uso eficiente del aire comprimido en congresos, conferencias, cursos y seminarios. A esto hay que añadir las publicaciones en distintos medios especializados.

La tecnología de la neumática juega un papel muy importante en la mecánica desde hace mucho tiempo y es cada vez más utilizada en el desarrollo de aplicaciones automatizadas de servicio y elaboración. Las aplicaciones de la neumática figuran en casi todas las ramas de

la industria, el comercio y el hogar; como la agricultura, equipos de recreación popular, equipos camineros, las cervecerías e industrias lácteas, la técnica médica y en la fabricación de prótesis, en la transformación de metales, madera y productos plásticos, etc. Además la neumática tiene un sinnúmero de aplicaciones en la fabricación de transportes, armamentos y equipos militares.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

Esta investigación pre titulación universitaria de tercer nivel se basa en las líneas de investigación de la UIDE (Universidad Internacional del Ecuador, extensión Guayaquil); *innovación tecnológica, modelación y simulación de procesos* y en el plan nacional del buen vivir 2017- 2021, con el objetivo 5, que abarca *Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico y sostenible de manera redistributiva y solidaria*, siendo parte inclusiva para una de sus metas que corresponde.

El problema radica en el estudio de factibilidad del “DISEÑO DE UNA RED NEUMÁTICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”, localizado en la ciudad de Guayaquil, el cual realiza labores de mantenimiento y reparaciones mecánicas automotrices.

La necesidad de este proyecto nace debido a las exigencias económicas, técnicas y medioambientales, ya que en los años recientes se han implementado en nuestro país, en talleres de servicios y concesionarios automotrices, la creación de sistemas de aire comprimido, los cuales facilitan la ejecución de tareas, mejoran la calidad del servicio y ahorran tiempo en la realización de los trabajos encomendados.

El avance tecnológico ha permitido dar nuevos usos o aplicaciones al aire comprimido; entre ellos, la aplicación para diseño, mantenimiento y reparaciones domésticas, comerciales, industriales y militares. Con esta innovación se ahorra tiempo, se mejora la calidad del servicio y se obtienen mayores ingresos económicos.

## **1.3 Formulación del problema.**

¿Es técnicamente recomendable el “DISEÑO DE UNA RED NEUMÁTICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”?

#### **1.4 Sistematización del problema.**

- ❖ ¿Cuál es el propósito del “DISEÑO DE UNA RED NEUMÁTICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”?
- ❖ ¿Mejorarán las condiciones y actividades de trabajo con la utilización de un sistema de aire comprimido?
- ❖ ¿Cuáles son los beneficios que se obtendrán del “DISEÑO DE UNA RED NEUMÁTICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”?

#### **1.5 Objetivos de la investigación.**

##### **1.5.1 Objetivo general.**

Diseñar una red neumática de servicio para el taller automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA.

##### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- ❖ Implementar un sistema de aire comprimido para el taller automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA.
- ❖ Establecer los componentes que integran la red de aire comprimido.
- ❖ Reducir el tiempo empleado en los mantenimientos y reparaciones por el uso de aire comprimido.
- ❖ Obtener una mayor competitividad con respecto a otros talleres o concesionarios automotrices.
- ❖ Obtener mayores ingresos económicos al reducir tiempos de operación y aumentar el número de clientes atendidos.
- ❖ Mejorar la imagen del taller automotriz ante los clientes, la comunidad y el gremio respectivo.

## **1.6 Justificación y delimitación de la investigación.**

### **1.6.1 Justificación.**

El diseño de la red neumática o malla de aire comprimido de servicio para el taller mecánico automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA, localizado en el centro de la ciudad de Guayaquil, tiene la finalidad de mejorar la funcionabilidad administrativa, logística y operacional del taller mecánico en todos los servicios que presta para obtener una mayor rentabilidad económica al ahorrar tiempo en sus procesos de mantenimiento y reparación de vehículos.

### **1.6.2 Justificación metodológica.**

Para el diseño de la red o tejido de aire comprimido de servicio de mantenimiento y reparación para uso del taller mecánico automotriz, se buscará economizar, ahorrar tiempo, dotar a los trabajadores de mejores métodos de trabajo e incursionar en la mejora continua de procedimientos y procesos utilizando tecnología relacionada con la actividad que se ejerce buscando el reconocimiento de los usuarios, competidores, proveedores, distribuidores de vehículos y de la sociedad en general.

### **1.6.3 Justificación práctica.**

Con la implementación del diseño de una red de aire comprimido los trabajos reducirán su tiempo empleado, el técnico mejorará la calidad de sus trabajos y el cliente gozará de mayor beneplácito al reducirse el tiempo de entrega y el precio de los trabajos de su vehículo.

### **1.6.4 Delimitación temporal.**

El trabajo de investigación y diseño de la red neumática para el taller mecánico automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA, se desarrollará en un tiempo de 6 meses que incluirán visitas periódicas al taller, entrevistas al personal de servicio, estudio de los procedimientos y métodos de trabajo utilizados y la propuesta de diseño de la red neumática de servicio. Esta publicación se la desarrollara paralelamente a los trabajos y actividades que se realizan en los vehículos de los clientes.

### 1.6.5 Delimitación geográfica.

El trabajo se desarrollará en las instalaciones del taller automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA, ubicado en la calle Brasil (calle 17 S) N° 2.107 entre Esmeraldas y Los Ríos, en la parroquia urbana Sucre de la ciudad de Guayaquil. El sector está atestado de viviendas, establecimientos educativos, locales comerciales de diversa índole, otros talleres relacionados con nuestra actividad en estudio y otros de naturaleza ajena.

Cabe mencionar que el sector posee un importante movimiento educativo, artesanal, religioso, comercial y social que requieren la necesidad de contar con establecimientos que brinden servicios de enderezado, pintura, electromecánica, control de emisiones, mantenimiento y reparación de todo tipo de vehículos livianos, mostrado a continuación en la figura 1:

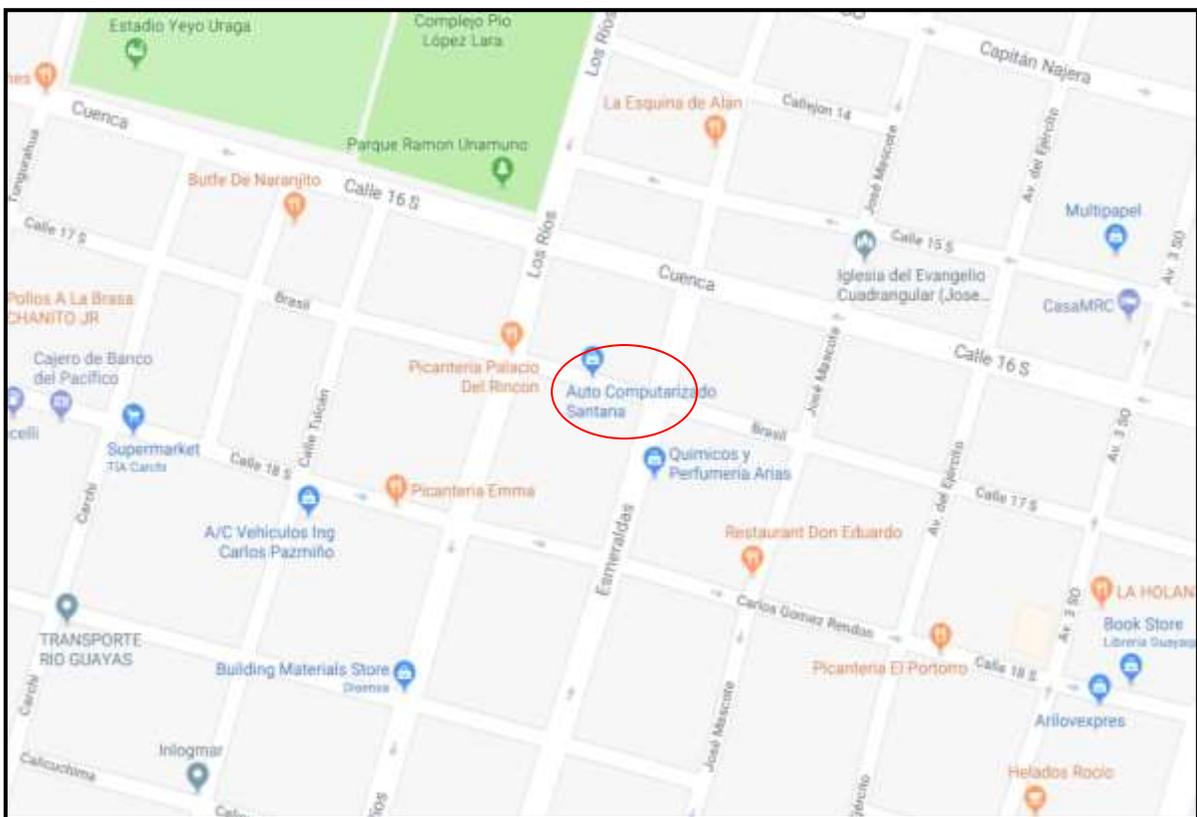


Figura 1. Ubicación geográfica de las instalaciones del taller automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA (Google Maps)

### **1.6.6 Delimitación del contenido.**

En la presente investigación pre titulación universitaria de tercer nivel se elaborará un diseño de una red de aire comprimido, cuyo propósito primordial es mejorar la calidad del servicio técnico del taller mecánico automotriz, concernientes a mantenimiento y reparaciones.

### **1.6.7 Reseña histórica del establecimiento de servicio automotriz.**

El taller de servicio automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA inició sus operaciones a fines de septiembre de 2001, como consta en los registros del Servicio de Rentas Internas (SRI) del Ecuador y otros organismos de control con apenas tres operarios automotrices en un pequeño local situado en un punto ajeno al actual, en el que se realizaban cambios de aceite, mantenimientos electromecánicos y reparaciones mecánicas a vehículos livianos (autos y camionetas). Años después se trasladaron a un terreno baldío ubicado en Brasil 2107 entre Los Ríos y Esmeraldas, este local fue transformado paulatinamente en un funcional y apropiado sitio para todo tipo de actividades de mantenimiento y reparación automotrices.

Para el 2008 el taller mecánico automotriz estaba estructurado física y logísticamente en un 80%, contaba con secretaria, cinco operarios y un guardián nocturno. Los servicios y labores automotrices se habían incrementado y el taller era un micro PYMES que atendía autos ligeros a los que brindaba mantenimiento y reparaciones utilizando equipos modernos de diagnóstico electrónico. Dos años más tarde atendía a vehículos de toda marca y mantenía convenios con empresas para mantener operativo su parque automotor.

Casi seguido se comenzó a trabajar con vehículos pesados pero en su lugar de trabajo. Con todas las actividades cubiertas: mecánicas, electromecánicas, aire acondicionado, diagnóstico electrónico, control de emisiones, provisión de repuestos y mejora continua, el taller casi completamente equipado avanza cubriendo los estándares establecidos para su operación. Entre su personal cuenta con operarios que se desarrollaron en acreditados concesionarios automotrices.

Posee todos los permisos municipales, estatales, bomberiles y de salud. Así mismo se ha hecho acreedor de la confianza de proveedores, competidores, empresarios y clientes en general.

A continuación mostramos en la figura 2 una vista frontal del taller mecánico automotriz en pleno día de labores:

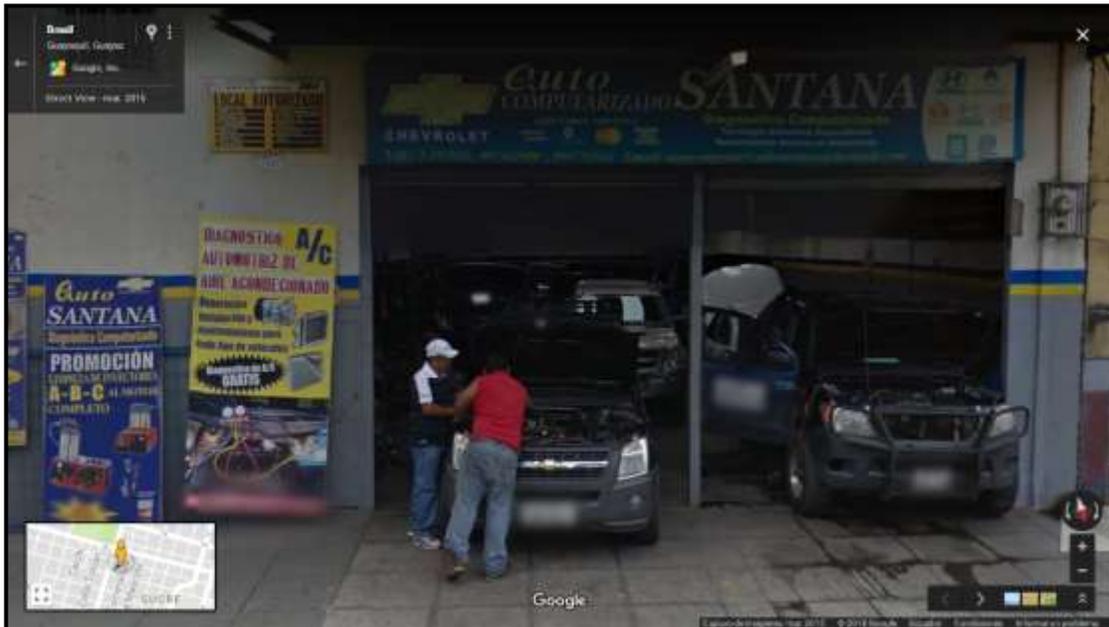


Figura 2. Vista frontal del taller mecánico automotriz (Google Maps).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 Características generales del sector automotriz.**

El sector automotriz se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización, reparación y venta de automóviles. Es un gran generador de empleo, ya que además de la mano de obra directa que requiere, genera toda una industria paralela de componentes, por lo que la mano de obra indirecta creada es sumamente grande también.

Las fases diseño y fabricación no están presentes en nuestra industria; sin embargo, las etapas de ensamble (para cierto tipo de vehículos), reparación, mantenimiento y venta tienen una fuerte presencia en nuestra economía.

##### **2.1.1 Servicios del sector automotriz.**

El servicio se puede definir como el enlace entre el proceso productivo y el consumidor final. De tal manera permite ver una empresa extendida desde el diseño del producto y proveedores de insumos, hasta el cliente. En la actualidad es posible observar que las necesidades, expectativas, condiciones y la posición de las personas demandan cambios a lo rutinario. Los servicios son variables impredecibles y no se prestan a un control sistemático. Por esta misma razón, los servicios responden a un conjunto infinito de condiciones por parte del consumidor.

Es de vital importancia dimensionar la correlación existente entre la calidad de servicio y la satisfacción del cliente con la competitividad de la empresa o taller, se muestra el enfoque bidimensional de la calidad en el producto y en el servicio que sugiere que un análisis estratégico debe concentrarse, no en la participación que se tenga en el mercado, sino en la capacidad de la organización para proporcionar productos o servicios, cuyo valor agregado y actividades de apoyo proporcionados al cliente superen a los que ofrezca la competencia, tal y como se muestra en la figura 3:



Figura 3. Dimensiones de calidad (Jarel Rivas, 2016)

La importancia de la calidad en el servicio normalmente es llevada por concesionarios y talleres automotrices, que se refleja en la satisfacción del cliente. Cuando éste recibe un buen o mal servicio su reacción es generalmente inmediata.

Para lograr cumplir con la satisfacción que el cliente espera del servicio prestado se define tres características importantes que diferencian a las organizaciones de servicios, de las mediocres y/o empíricas, las cuales se definen a continuación:

### **2.1.2 Una clara estrategia de servicio.**

Es desarrollar una estrategia que oriente la atención de la gente de la organización hacia las prioridades reales del cliente. Es elaborar una guía de actuación para toda la organización. Desarrollar el servicio al cliente interno y al cliente externo, cumplir con la promesa de servicio para alcanzar confiabilidad.

### **2.1.3 Personal atento al cliente.**

Es estimular y proveer todos los medios a los empleados y trabajadores para que mantengan su atención fija en las necesidades de los clientes. Un profesional debe poseer un buen nivel de preparación y voluntad de servir. Todos deben comprometerse voluntariamente y de buena gana a cumplir la promesa de servicio.

#### 2.1.4 Sistemas amables para el cliente.

Se refiere al sistema de prestación de servicio en que se apoya el empleado, y debe estar diseñado para la conveniencia del cliente y no de la organización. Las políticas, instalaciones físicas, procesos, métodos y procedimientos deben cubrir las necesidades del cliente.

#### 2.1.5 Estrategia del servicio.

Es proporcionada por la dirección para lograr ventajas competitivas. Las describimos a continuación:

- ❖ **Gente.** Incluye a todo el personal de la organización y es el recurso condicionante para cristalizar la calidad del servicio.
- ❖ **Estructura.** Hace hincapié en toda la organización, desde la alta gerencia hasta los empleados operativos y administrativos.
- ❖ **Cliente.** Es el centro del modelo, que obliga a que tanto los demás componentes del triángulo de servicio, como de la organización se orienten hacia él.

Considerando los elementos anteriores dentro de los servicios que oferta el sector automotriz, los podemos detallar en forma general en tres grandes rótulos, los cuales se disponen de la siguiente manera en la figura 4:

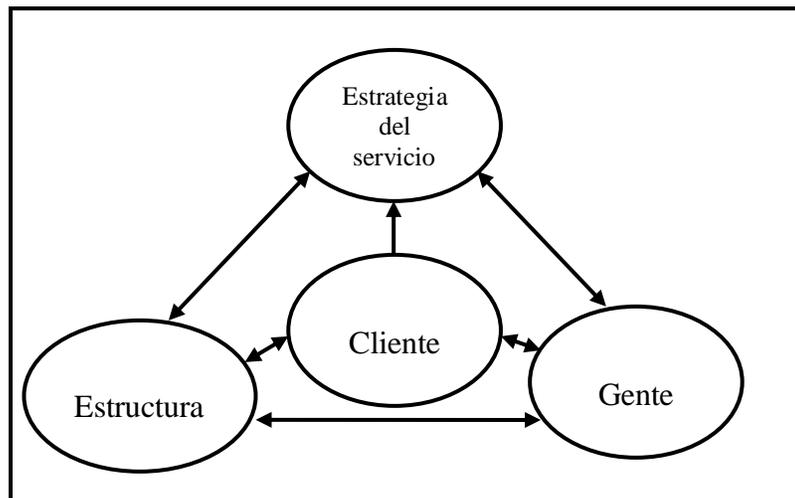


Figura 4. Triángulo de servicio (<http://ciclodelacalidad.blogspot.com/>, 2014)

#### 2.1.6 Servicio de reparación y mantenimiento.

Un vehículo requiere de cuidados, no es simplemente cargarlo de combustible y arrancar. Las reparaciones y mantenimiento que se le brinde al mismo harán que la vida útil del

vehículo se prolongue. Por tanto, debemos entender el término de Mantenimiento como: *el proceso de comprobaciones y operaciones necesarias para asegurar a los vehículos el máximo de eficiencia, reduciendo el tiempo de parada para repararlos.* (Manuel, 1996)

## **2.2 Neumática.**

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce y utiliza el hombre para reforzar sus recursos físicos.

Sabemos que el primero que se ocupó de la neumática, es decir, utilizar el aire comprimido como elemento de trabajo, fue el griego KTESIBIOS. Hace más de dos mil años, construyó una catapulta de aire comprimido. De los antiguos griegos procede la expresión *Pneuma*, que designa lo etéreo, lo puro, el alma de los cuatro elementos fundamentales: aire, agua, tierra y fuego. Como derivación de la palabra *Pneuma* surge, entre otras cosas, el concepto neumático que trata los movimientos y procesos del aire.

Aunque los rasgos básicos de la neumática se cuentan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse sistemáticamente su comportamiento y sus reglas. A partir de 1950 podemos hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación. Es cierto que con anterioridad ya existían algunas aplicaciones, como por ejemplo en la minería, en la industria de la construcción y en los ferrocarriles (frenos de aire comprimido).

La irrupción verdadera y generalizada de la neumática en la industria no se inició, sin embargo, hasta que llegó a hacerse más acuciante la exigencia de automatizar y racionalizar los procesos de trabajo, para bajar los costos de producción.

Desde los inicios de la industria el aire comprimido es una de las formas de energía más utilizada por la humanidad. En la actualidad, todo desarrollo industrial está concebido con aire comprimido; y, en consecuencia, se utilizan equipos neumáticos.

*“En la antigua Grecia hace más de 2.000 años, existen registros de la utilización de aire comprimido de forma segura y práctica, donde el inventor Ktesibios fue capaz de desarrollar una máquina catapulta accionada por aire comprimido, este es uno de los primeros registros de la aplicación del aire a presión en un elemento de trabajo. El primer libro referente al uso del aire comprimido es del año 100 DC y trata de elementos mecánicos activados por aire caliente.*

*El origen de la palabra neumática proviene del griego “pneuma” que se aplica a la respiración y viento, filosóficamente significa alma. Por lo tanto la palabra neumática es una derivación del griego “pneuma” y hace referencia al flujo y tratamiento del aire.*

*Recién a mediados del siglo XX es cuando se puede hablar de la aplicación de la neumática en la fabricación de equipos y en la industria, a pesar de que la neumática tiene sus orígenes entre los conocimientos más antiguos y elementales de la humanidad’’. (Martinez, 2013)*

### **2.2.1 Neumática básica.**

Cuando el aire se encuentra a una presión superior a 1 bar se puede decir que se trata de aire comprimido, todos los sistemas neumáticos deben funcionar con aire comprimido con una presión mayor a 14,7 psi o 1 bar, esta presión es utilizada para desplazar un pistón o mover un elemento giratorio como una turbina o un rotor en el caso de pistolas de impacto o taladros para perforar. Existen otras aplicaciones.

Al hablar de un sistema neumático necesitamos comprender parámetros básicos de esta ciencia técnica conocida como Neumática, la cual cumple con la función de estudiar el comportamiento y aplicaciones del aire como fluido, es por ello que se debe tener conocimientos sobre esta ciencia para poder elaborar mejores aplicaciones que realicen excelentes trabajos.

Como es de conocimiento general, el aire es un elemento de la naturaleza, compuesto por elementos químicos como son oxígeno en su gran mayoría, nitrógeno, argón, entre otros. Se sabe que el aire que se encuentra en el ambiente no es completamente puro ni completamente seco. Es por ello que en el sistema neumático nos encontraremos con estos dos problemas: la contaminación y la humedad, los cuales se combaten para lograr la purificación absoluta del fluido, ya que al querer alimentar el sistema obligadamente se debe tomar aire del medio ambiente, el cual es abundante y gratis.

### **2.2.2 Aplicaciones Neumáticas.**

Los principios neumáticos han sido de gran aporte a lo largo de la historia, ya que si bien es cierto la Ingeniería ha colaborado enormemente en el desarrollo de procesos industriales, pero con la incorporación de la neumática se tiene una optimización de recursos tan grande que la

implementación de sistemas neumáticos dentro de todas las industrias ha generado grandes beneficios, tanto a las empresas como a los trabajadores de las mismas.

*“La neumática utiliza aire comprimido para realizar un trabajo. El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión y acondicionado. Generación de aire comprimido es el proceso de elevación de presión del aire atmosférico en la sección de entrada del sistema neumático”.* (Jiménez, 2003).

La neumática resulta una ayuda fundamental en todo tipo de industrias ya que es accesible. Dentro de los campos donde se aplica este tipo de sistema, cabe recalcar algunos como: máquinas y mecanismos diversos dentro de la industria en general, facilita la elevación y transporte, en la industria alimenticia el accionamiento de válvulas es una de sus aplicaciones, en obras públicas, agricultura, entre otras. Y como no puede ser de otra forma se lo emplea en el sector automotriz y en la fabricación de todo tipo de vehículos civiles y militares. Además, dentro de diversos establecimientos que van desde talleres pequeños, ensambladoras y trituradoras de autos.

### **2.3 Magnitudes físicas fundamentales que intervienen en la neumática.**

Para hablar sobre neumática se debe necesariamente hablar de física, ya que sin esta ciencia se dificulta entender gran parte de la neumática.

Se comenzará por las magnitudes fundamentales que intervienen dentro de la neumática.

#### **2.3.1 Presión.**

Se conoce como presión a la fuerza aplicada sobre un área o superficie determinada. La unidad de medida de la magnitud presión en el Sistema Métrico Internacional es el Pascal, pero para efectos de cálculos es más empleado “la atmósfera” que es una unidad equivalente de presión donde se toma en cuenta la presión que genera la atmósfera o presión atmosférica. En la siguiente figura 5 se aprecia las unidades que intervienen en neumática:

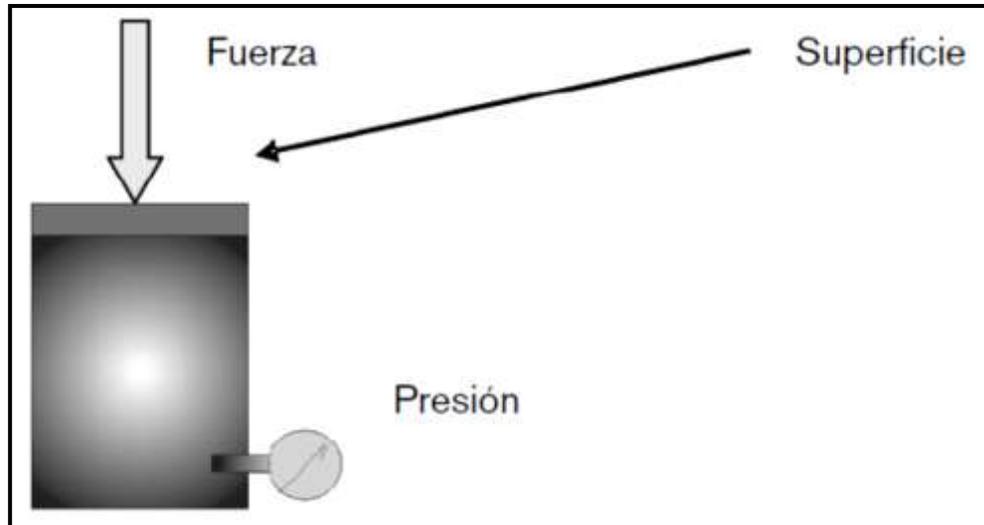


Figura 5. Relación presión-fuerza-superficie (Micromecánica, 2018)

Para esta investigación se tomó en cuenta las unidades en las que se maneja el mercado en equipos de medición de presión, es por ello que se emplearán las unidades de Bar y Psi.

Los sistemas neumáticos tratan con tres tipos de presión:

- ❖ **Presión Atmosférica:** al nivel del mar es de 14,7 psi (Lb/pulg<sup>2</sup>); la presión es más baja arriba del nivel del mar, y más alta debajo del nivel del mar. Esto también permite que el aire pase a través del filtro de admisión en un compresor, dentro del cilindro cuando el compresor está en la carrera de admisión, y la presión en el cilindro está por debajo de la presión atmosférica.
- ❖ **Presión Relativa:** es la que resulta de tomar como referencia (cero de la escala) a la presión absoluta atmosférica. Es la presión que indican los manómetros, también llamada presión manométrica, que es la empleada para el cálculo de fuerza de los cilindros o actuadores neumáticos
- ❖ **Presión absoluta:** es la presión resultante de sumar la presión atmosférica (1.013 Kg/cm<sup>2</sup>) a la presión manométrica.

En esto influye mucho el país de origen del equipo que se tome como muestra, en nuestro país se acostumbra emplear estas unidades de presión (Bar y Psi), las que facilitan su interpretación por medio de tablas, la conversión de las unidades según se requiera. A continuación adjuntamos la tabla de conversiones en mención.

*La presión atmosférica media es de 101 325 pascales (101,3 kPa), a nivel del mar, donde 1 atm = 1,01325 bar = 101325 Pa = 1,033 kgf/cm<sup>2</sup> y 1 m.c.a (metro de columna de agua) = 9,806 kPa.*

Tabla 1. *Unidades de medida de presión y sus factores de conversión* (Wikipedia, 2018).

	Pascal	Bar	N/mm <sup>2</sup>	Kgf/m <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	atm	Torr	PSI
1 Pa (N/m <sup>2</sup> )	1	0,00001	0,000001	0,102	0,000102	0,000098692	0,00750062	0,000145
1 Bar	100000	1	0,1	10197,1	1,0197	0,98692	750,06	14,7
1 N/mm <sup>2</sup>	1000000	10	1	101971,6	10,1971	9,87	7500,62	145,04
1 Kgf/m <sup>2</sup>	9,81	0,000098	0,0000098	1	0,00098	0,00009678	0,073556	0,00142
1 atm	101325	1,01325	0,101325	10332,27	1,0332	1	760	14,7
1 mca (m.c.a)	9806,4	0,09806	0,00980638	999,97	0,1	0,09678	73,5539	1,42
1 Torr (mmHg)	133,32	0,00133	0,0001333	13,5951	0,00136	0,001316	1	0,019336
1 PSI	6894,76	0,068948	0,0068948	703,188	0,0703188	0,068046	51,7149	1

Los manómetros calculan la presión basándose en la presión atmosférica, dando origen a la presión manométrica que no es más que restar la presión absoluta o media y la presión atmosférica que tiene un valor de 760 milímetros de mercurio.

### 2.3.2 Velocidad.

La velocidad es la magnitud física que muestra y formula la transición o el cambio en cuanto a la posición de un objeto en función del tiempo, que sería lo mismo que decir que es la distancia recorrida por un cuerpo en la unidad de tiempo.

La distancia dada en la unidad internacional de medida es el metro y el tiempo en segundos; la velocidad por lo tanto posee una unidad de medida de metros sobre segundos (m/s), por ejemplo, si un vehículo avanza cien metros en cien segundos decimos que lo realizó a una velocidad de un metro por cada segundo.

### 2.3.3 Temperatura.

Párrafo de referencia según (Maggiolo, 2018).

*“Se dice que dos cuerpos están a igual temperatura si al ponerlos en contacto no se producen modificaciones en sus dimensiones, resistencia eléctrica ni en una columna de*

mercurio que se encuentre en contacto con cada uno de los cuerpos.” La temperatura es una magnitud física, la cual es expresada en grados Centígrados o Celsius y grados Fahrenheit. Para cálculos se toma la temperatura absoluta en grados Kelvin.

Párrafo de referencia según, (Maggiolo, 2018).

“Se definen escalas de temperatura absolutas, a través de un conjunto de puntos fijos. En el Sistema Internacional se utiliza la escala llamada Kelvin, definida asignándole al punto triple del agua el valor 273,16 y a su punto de ebullición a 1 atm el valor 373,15”.

❖ **Temperatura:** Es la cantidad de energía calórica en tránsito. La temperatura indica la intensidad de calor. La temperatura es una medida de la energía cinética en las moléculas. Las moléculas se mueven más rápidamente cuanto mayor sea la temperatura; el movimiento cesa por completo a una temperatura de cero absoluto. En el estudio de los gases, la temperatura es expresada en Kelvin, también conocida como escala de temperatura absoluta. A continuación adjuntamos en la tabla 2 las fórmulas de conversión de temperaturas:

Tabla 2. *Tabla de conversión según escalas de temperaturas* (Ocampo, 2018).

FÓRMULAS DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA		
CONVERSIÓN DE	A	FÓRMULA
Grados Celsius	Grados Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
Grados Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
Grados Celsius	Rankine	$\text{R} = (^{\circ}\text{C} + 273.15) \times 1.8$
Grados Fahrenheit	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
Grados Fahrenheit	Kelvin	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) / 1.8$
Grados Fahrenheit	Rankine	$\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$
Kelvin	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$
Kelvin	Grados Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = 9\text{K} - 459.67$
Rankine	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = (\text{R} / 1.8) - 273.15$

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica. (s.a.i.c, 2018).

❖ **Temperatura absoluta:** “Es aquella que toma como cero de la escala al cero absoluto de la temperatura, correspondiente a  $-273,16^{\circ}\text{C}$ . Indicaremos con  $T$  a la

*Temperatura en grados Kelvin o absoluta y con  $t$  a la temperatura en grados centígrados o Celsius”.*

#### **2.3.4 Masa.**

Masa es la cantidad de materia que un cuerpo posee. La unidad de medida otorgada por el Sistema Internacional es el kilogramo (kg), pero obviamente varía según el país donde se encuentre, en Ecuador por ejemplo, es habitual escuchar y usar la libra, la arroba y el quintal. Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica, 2004. (s.a.i.c, 2018).

*“Todos los objetos o sustancias tienen Masa. La Masa representa la cantidad de materia en un objeto y su inercia o resistencia al ponerse en movimiento. La Masa de un objeto determina su peso en la tierra o en cualquier otro campo gravitatorio. La inercia de un objeto determina la cantidad de fuerza que se requiere para levantar o mover un objeto o para cambiar su velocidad o dirección de movimiento.”*

#### **2.3.5 Caudal.**

Al caudal se lo conoce como un cierto volumen de fluido otorgado en una cantidad determinada de tiempo, donde de la misma manera el metro y el segundo intervienen como unidades primordiales del Sistema Internacional solo que el metro es al cuadrado o metro cuadrado.

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica 2004. (s.a.i.c, 2018).

**Caudal:** *“se llama caudal o gasto de un fluido, al volumen de fluido que pasa por una sección en la unidad de tiempo. Esta cantidad de fluido podemos expresarla de dos formas, en masa o en volumen. El caudal másico y el caudal volumétrico están relacionados a través de la densidad del fluido, que en el caso de los gases es variable con la presión y la temperatura.”*

#### **2.4 Leyes de los gases.**

La ley general de los gases es una ley de los gases que combina la ley de Boyle-Mariotte, la ley de Charles y la ley de Gay-Lussac. Finalmente, la ley de Gay-Lussac introduce una proporcionalidad directa entre la temperatura y la presión, siempre y cuando se encuentre a un volumen constante.

La ley general de los gases genera una ecuación donde intervienen temperatura, presión y volumen; de esta ley se generan otras como la ley de Boyle, donde únicamente toma en cuenta

la presión y el volumen dando una temperatura constante, como se muestra en la siguiente ecuación general de los gases.

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2} \quad (1)$$

Donde: presión (P1 y P2), volumen (V1 y V2) y temperatura (T1 y T2) se han medido en dos instantes distintos 1 y 2 para un mismo sistema.

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica 2004. (s.a.i.c, 2018).

*“A temperatura constante las presiones ejercidas en una masa gaseosa, son inversamente proporcionales a los volúmenes ocupados. Es conocida como una ecuación isotérmica con temperatura constante es decir no varía en ningún momento la temperatura y no se le puede tomar en cuenta”.*

Otra de las leyes es la ley de Charles, donde toma un volumen constante y únicamente entran en el cálculo la temperatura y la presión, también se la conoce como una ecuación isométrica, con un volumen constante que no se lo toma en cuenta porque en la ecuación se simplificaría el valor.

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica 2004. (s.a.i.c, 2018).

*“Considerándose un volumen constante, al aumentar la temperatura, aumenta la presión”.*

Y también se tiene la ley de Guy, donde toma una presión constante y entran en la ecuación el volumen y la temperatura. Se denomina también una ecuación isobárica al tener constante su presión.

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica 2004. (s.a.i.c, 2018).

*“A presión constante el volumen ocupado por un gas es proporcional a su temperatura absoluta. A volumen constante la presión de un gas es proporcional a su temperatura absoluta”*, como se muestra en la figura 6:

## Diagramas de fases presión – volumen - temperatura

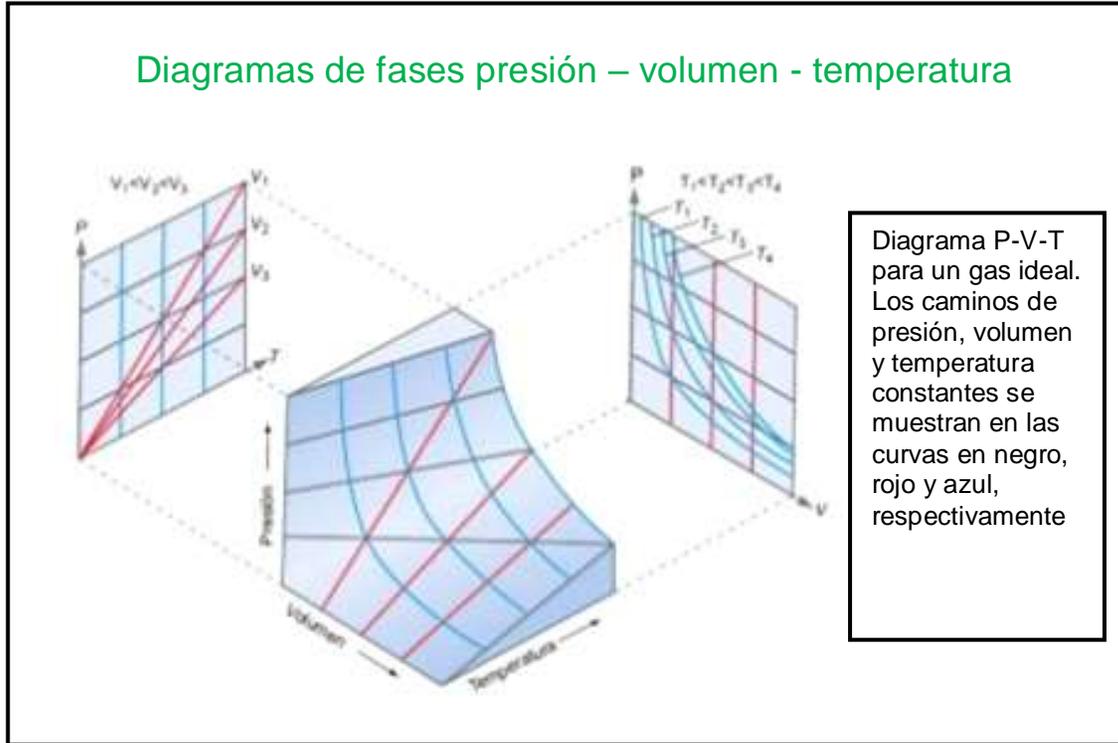


Figura 6. Diagramas de fases P-V-T para un gas ideal (Cecilia, 2016)

### 2.5 Aire comprimido.

El aire para comprimirlo necesita de un medio mecánico, en el cual se pueda aumentar su presión, comprimirlo y mantenerlo en un volumen fijo; se debe recalcar que los gases si son compresibles a diferencia de los líquidos que no lo son, según la teoría física.

Párrafo de referencia según Automoción Micromecánica 2004. (s.a.i.c, 2018).

*“...Distintos a los líquidos que son virtualmente incompresibles, el aire es fácilmente compresible y puede almacenarse en grandes cantidades en recipientes relativamente pequeños. Mientras más se comprima el aire, más alta es su presión. Mientras más alta sea la presión en su recipiente, mayor tiene que ser la resistencia del recipiente... (que lo contiene)*

*...Este aire, ahora comprimido, al ir enfriándose en el depósito y tuberías de distribución hasta igualar la temperatura ambiente, condensara parte de su humedad en forma de gotas de agua...”*

El aire es un gas casi perfecto, se caracteriza esencialmente por su fluidez, la cual le permite a sus partículas moverse con poca resistencia al desplazamiento, la compresibilidad que logra el poder almacenar al fluido en recipientes cerrados variando su volumen, y la

elasticidad que ejerce el aire comprimido sobre las paredes del recipiente a una determinada presión.

Dentro de las cualidades antes mencionadas destaca la compresibilidad, ya que como es de conocimiento general los líquidos no son compresibles, dando al aire como fluido una gran ventaja, ya que se puede regular su flujo por medio de una simple estrangulación.

Para poder tener un gas, en este caso, el aire comprimido en grandes cantidades se requiere necesariamente la ayuda de un compresor el cual debe estar diseñado para cumplir con esta función; también es bueno recalcar que al estar el aire comprimido, puede ser peligroso si no se tiene el cuidado necesario de crear un sistema capaz de soportar valores más altos de presión que los nominales. Es nuestra primera preocupación para alargar la vida útil de todo el sistema y sus componentes, obtener el aire lo más puro posible y con el menor porcentaje de humedad.

Como se mencionó con anterioridad el empleo del aire posee ventajas pero existen también desventajas que se deben tomar en cuenta y prevenir que se produzcan daños o fallas en el sistema.

Párrafo de referencia según Creus Solé. (Antonio, 2016).

*“La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire y así en sus comienzos el hombre utilizó el viento en la navegación y en el uso de los molinos para moler grano y bombear agua. En 1868 George Westinghouse fabricó un freno de aire que revolucionó la seguridad en el transporte ferroviario. Es a partir de 1950 que la neumática se desarrolla ampliamente en la industria con el desarrollo paralelo de los sensores...*

*...Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo costo de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja lo que constituye un factor de seguridad. Otras características favorables son el riesgo nulo de explosión, su conversión fácil al movimiento giratorio así como al lineal, la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias, una construcción y mantenimiento fáciles y la economía en las aplicaciones”.*

Para poder generar aire comprimido se necesita de la ayuda de un compresor, el cual es la cabeza de nuestro sistema, si él falla, falla todo el sistema. Es por ello que al ser una pieza fundamental del sistema se lo debe tratar como tal y darle la importancia que se merece, tanto

en el mantenimiento como en la elección del tipo y capacidad del compresor que vamos a elegir para nuestro sistema.

El uso de aire comprimido es bastante útil cuando se refiere a eficiencia, rapidez y limpieza, sin embargo, no se pueden desarrollar grandes fuerzas.

Es muy utilizado en la industria donde se utilizan mecanismos automatizados donde se requiere velocidad y precisión.

Otras aplicaciones son:

Herramientas neumáticas (taladros, martillos neumáticos, desarmadores, etc.)

Pistolas de aire (pintura automotriz, limpieza)

Herramientas médicas (succionador, taladro dental, etc.)

## **2.6 Componentes de control del sistema de aire comprimido.**

En la industria se necesitan de componentes eléctricos, electromecánicos y electrónicos que pueden ayudar en los trabajos que se vayan a realizar, pero en los sistemas domésticos y comerciales se emplean únicamente la electricidad para conectar la fuente de poder del compresor.

Dentro de los sistemas neumáticos existen herramientas o componentes, los cuales ayudan o colaboran con el sistema; existen diversos tipos y en ocasiones son combinados con la electricidad, electromecánica y electrónica, en este caso sólo empleamos los necesarios para los trabajos básicos a realizar y las herramientas o equipos neumáticos que se emplean con mayor frecuencia en la rama automotriz, específicamente para las actividades propias dentro del taller mecánico automotriz.

El Presóstato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presóstato al aplicar mayor o menor fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

A continuación se aprecian los modelos en las figuras 7 y 8:

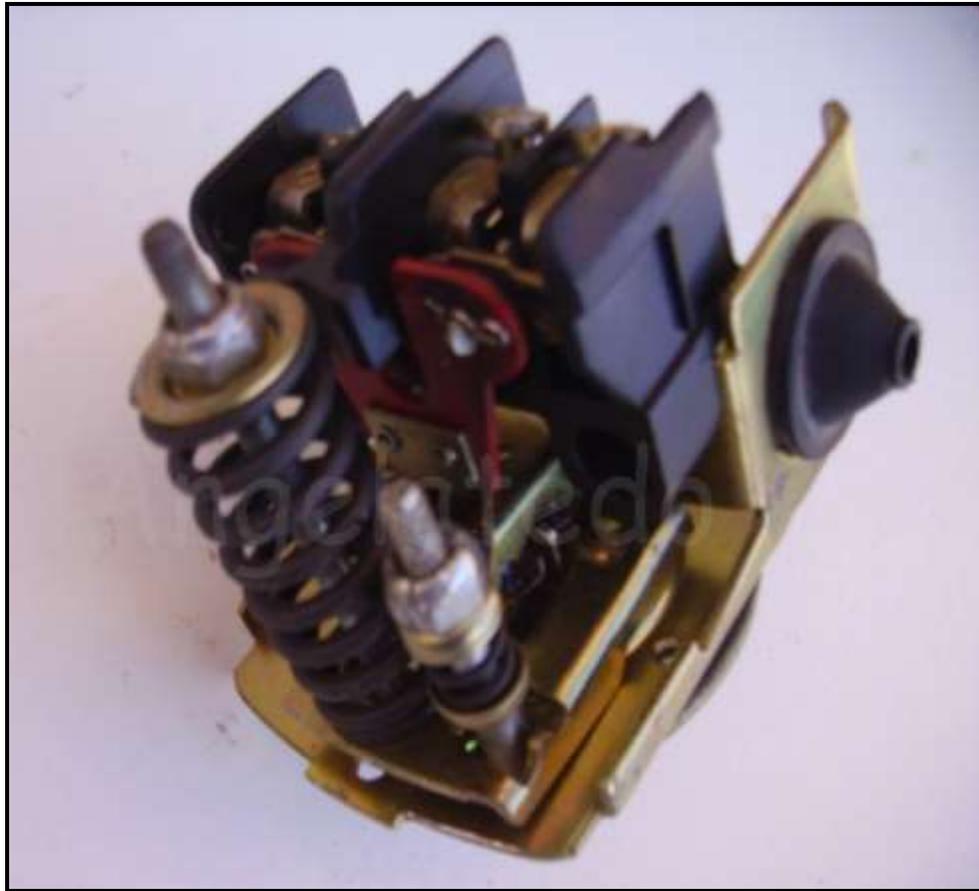


Figura 7. Presóstato (Tedo, 2014)

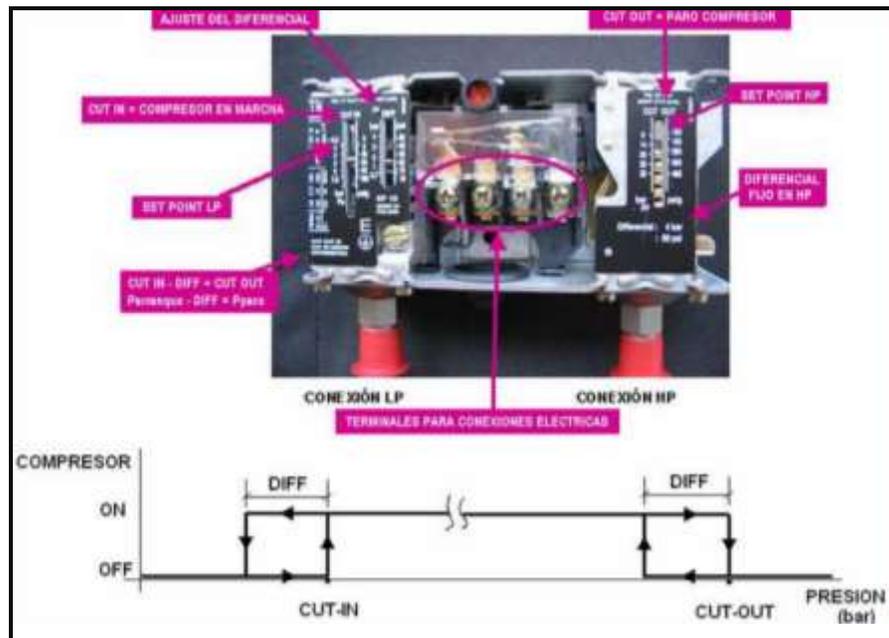


Figura 8. Presóstato combinado Danfoss (Asturias, 2013)

La parte eléctrica está compuesta y contenida por materiales aislantes llamados dieléctricos, estos a su vez separan o aíslan entre si las diferentes fases del circuito de control eléctrico.

Entonces tengamos siempre presente que la neumática es la ciencia que estudia los movimientos a partir de una fuerza obtenida por el aire a presión, aprovechando el volumen de aire comprimido para usarlo en equipos, máquinas, vehículos y procesos industriales.

En el sistema neumático el fluido es un gas no tóxico ni venenoso, químicamente estable, libre de ácidos que no puedan causar corrosión en los componentes. Los gases que cumplen estas características son el aire comprimido y el nitrógeno.

## **2.7 Características del sistema de aire comprimido.**

### **2.7.1 Ventajas.**

- ❖ Cantidad: Es muy abundante en la naturaleza.
- ❖ Seguridad: No es inflamable. No es tóxico.
- ❖ Seguridad: No posee características explosivas, aún después de comprimirlo, actuadores neumáticos no producen calor, en caso de fallo el sistema se detiene.
- ❖ Simple diseño y control: Componentes de configuración sencilla y fácil montaje.
- ❖ Económico: En las instalaciones de sistemas neumáticos los componentes son económicos y requieren poco mantenimiento.
- ❖ Fiabilidad: Larga vida de sus componentes, velocidad de actuadores elevada (1m/s).
- ❖ Resistencia al entorno: El sistema no se ve afectado debido a altas temperaturas, polvo, atmósferas corrosivas.
- ❖ Almacenamiento: Capaz de almacenarse en grandes cantidades dentro de depósitos.
- ❖ Disponibilidad: Suministro de aire comprimido para lugares alejados.
- ❖ Elección de movimiento: Es posible seleccionar entre movimiento lineal o angular, con velocidades fijas o variables.

### **2.7.2 Desventajas.**

- ❖ Antes del empleo del aire comprimido hay que librarlo o purificarlo de las partículas abrasivas, impurezas y humedad en suspensión.
- ❖ Empleado para realizar esfuerzos medios.
- ❖ No es posible obtener velocidades uniformes y constantes. La velocidad es muy variable.

- ❖ Cuando el compresor lleva horas trabajando, el aceite de lubricación puede mezclarse con el aire comprimido y ser expulsado de la instalación neumática.
- ❖ La fuerza límite ronda los 20000 y 30000 Newton.
- ❖ Los escapes de aire tienden a ser muy ruidos, siendo necesario el uso de silenciadores.

A continuación exponemos en la figura 9 una red de aire comprimido enumerando sus componentes en la tabla 3:

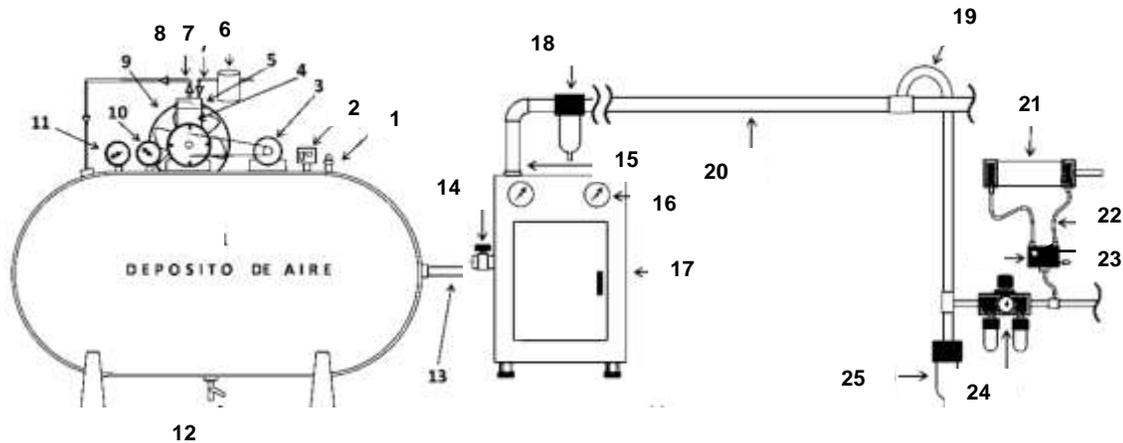


Figura 9. Componentes principales del compresor y tratamiento del aire en una red neumática (Cardenas, 2018)

Tabla 3. Localización de unidades y dispositivos de la red neumática.

1. Válvula de seguridad	9. Ventilador	17. Secador por enfriamiento
2. Presóstato	10. Termómetro	18 y 25. Filtro
3. Motor eléctrico	11. Manómetro	19. Bajante / acometida
4. Cilindro	12. Válvula de purga	20. Tubería o línea principal
5. Disipador de calor	13. A tratamiento de aire	21. Cilindro actuador
6. Filtro de aire	14. Válvula de paso de aire	22. Tubo de poliuretano
7. Entrada de aire	15. Salida de aire	23. Válvula de control
8. Salida de aire	16. Manómetro y termómetro	24. Unidad de mantenimiento

## 2.8 Elementos de la red neumática.

La red neumática es utilizada para producir, almacenar y distribuir el aire comprimido en las condiciones necesarias, regular las presiones de aplicación para la alimentación de las herramientas neumáticas y puntos de aire de soplado o pulverizado disponibles en todos los puntos del taller. La red neumática está conformada de los siguientes componentes:

### 2.8.1 Compresor de aire comprimido.

Un compresor es una máquina cuyo trabajo consiste en incrementar la presión de un fluido, normalmente comprensibles como el aire, gases y vapores.

Casi todos los compresores modernos funcionan con energía eléctrica alterna (C.A.), el motor eléctrico se energiza y mueve la banda para hacer girar los pistones que succionan el aire del ambiente y lo comprimen dentro del depósito.

El recipiente tiene un termómetro y un manómetro que miden la temperatura y la presión del depósito, para conocer el estado del compresor. La temperatura normalmente es medida en grados Celsius (Centígrados) o Fahrenheit y la unidad de medida de la presión es el bar o psi. Seguidamente en la figura 10 constan las disposiciones de los compresores:



Figura 10. Compresores de recipiente horizontal y vertical (Kompressoren)

La unidad de medida del caudal es el metro cúbico por hora ( $m^3/h$ ). Normalmente el caudal está relacionado con la capacidad del receptáculo.

### 2.8.1.1 Compresor de pistón de una etapa o reciprocante.

En talleres que no necesitan de mucho consumo de aire sometido a presión o en instalaciones pequeñas. El compresor funciona realizando dos tiempos. Mediante el desplazamiento de un pistón aspira el aire del ambiente con una válvula de admisión que se abre por la corriente de aire y lo comprime por la válvula de escape. La lubricación se realiza por barboteo por medio de una cucharilla ubicada en la parte inferior de la biela. La cucharilla toma el aceite del cárter y lo lanza contra la camisa.

Este tipo de compresor forma parte del grupo de los pioneros, elementales o convencionales. Están contruidos para pequeñas capacidades. A continuación en la figura 11, el tipo de compresor descrito:

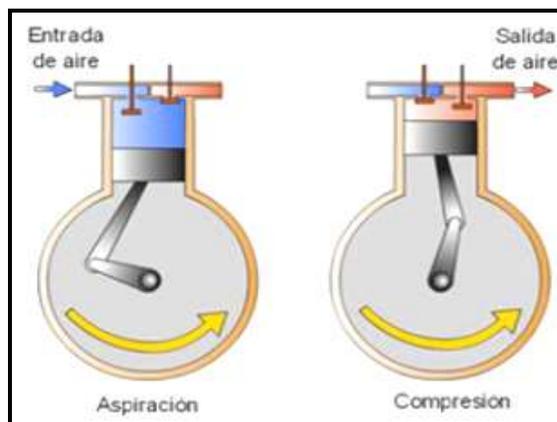


Figura 11. Funcionamiento del compresor de una etapa (Gaona, 2015).

### 2.8.1.2 Compresor de pistón de dos etapas.

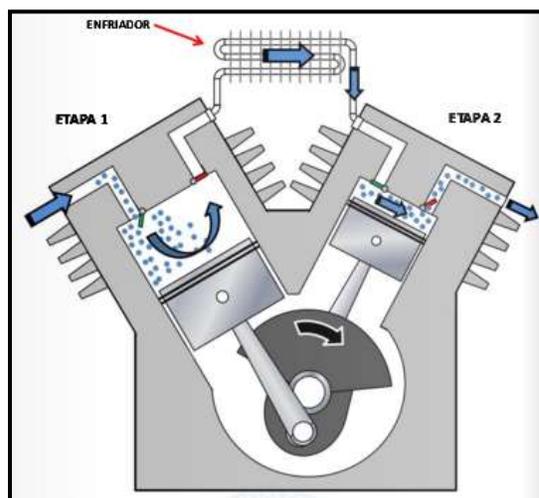


Figura 12. Compresor de dos etapas (Cardenas, 2018)

El compresor de la figura 12 dispone de dos pistones de distinto diámetro. Un pistón comprime el aire empujándolo hacia el otro cilindro donde es aún más comprimido. En la primera etapa se consigue una presión de 6 bares y en la segunda etapa el pistón pequeño aumenta la presión de salida hasta 10 a 15 bares dependiendo del compresor. El enfriador de aceite, localizado en la parte superior, mejora la compresión.

### 2.8.1.3 Compresor de paletas.

Tiene un rotor excéntrico que gira dentro del cárter cilíndrico. El rotor contiene aletas retractiles para adaptarse a las paredes del cárter, comprimiendo el aire mientras gira. Presión máxima de 7 bares. En la figura 13 se muestran los componentes de este compresor seccionado:

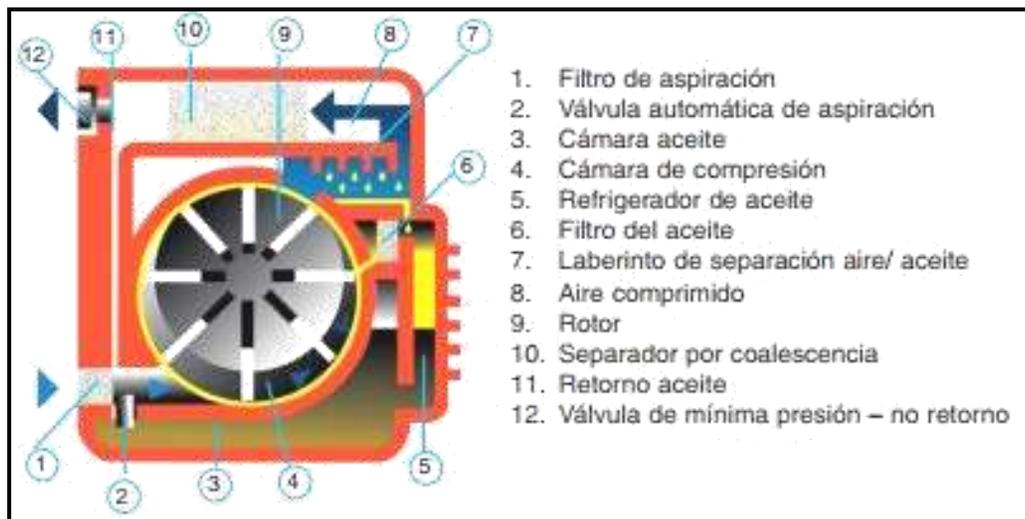


Figura 13. Compresor de paletas (mundocompresor, 2018)

### 2.8.1.4 Compresor helicoidal.

El compresor helicoidal de dos rotores es un aparato rotativo de desplazamiento positivo, en el que la compresión del aire se efectúa mediante dos rotores (husillos roscados). Está constituido por dos o tres tornillos helicoidales engranados entre sí. La longitud de los tornillos debe ser superior, al menos de 1,5 a 2 veces su paso, para asegurar la estanqueidad de las cámaras formadas entre las hélices. Funcionan a velocidades elevadas, debido a la ausencia de válvulas y fuerzas mecánicas desequilibrantes, por lo que sus dimensiones son muy pequeñas en relación con su capacidad.

Estos compresores son los más utilizados en obras públicas y en refrigeración industrial. Son una solución idónea para producciones que superen los 10 m<sup>3</sup>/min, con rendimientos por encima del 85%. Se pueden alcanzar presiones de hasta 50 bares.

Es usado en establecimientos que demandan una elevada cantidad de aire comprimido, es silencioso. Consiste en el movimiento rotatorio de una turbina que impulsa y comprime el aire hacia la red neumática. En la figura 14 se exhibe este tipo de compresor en corte:

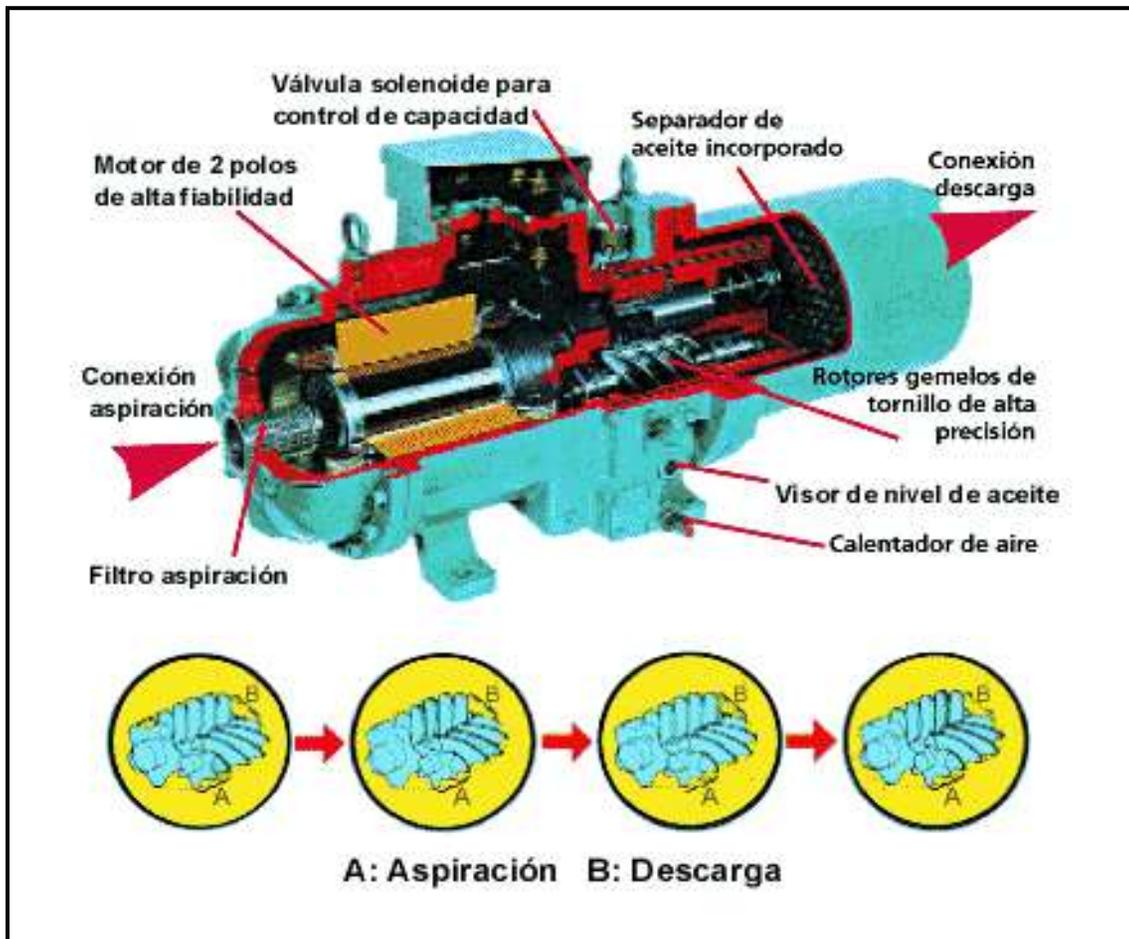


Figura 14. Compresor Helicoidal (Garcia, 2015)

### 2.8.1.5 Compresor de tornillo seco.

El compresor de tornillo es un compresor de desplazamiento positivo. El compresor de tornillo basa su tecnología en el desplazamiento del aire, a través de las cámaras que se crean con el giro simultáneo y en sentido contrario, de dos tornillos, uno macho y otro hembra. El aire llena los espacios creados entre ambos tornillos, aumentando la presión según se va

reduciendo el volumen en las citadas cámaras. El sentido del desplazamiento del aire es lineal, desde el lado de aspiración hasta el lado de presión, donde se encuentra la tobera de salida.

En el caso del compresor exento de lubricación o seco, los rotores trabajan en seco, suministrando aire sin contaminar por el aceite de lubricación. Funciona por medio de dos rotores helicoidales que giran paralelamente en sentido contrario. Ambos rotores tienen geometría diferente para desplazar el aire desde el lado de aspiración al lado de descarga. En la figura 15 se detalla en partes un compresor de tornillo seco:

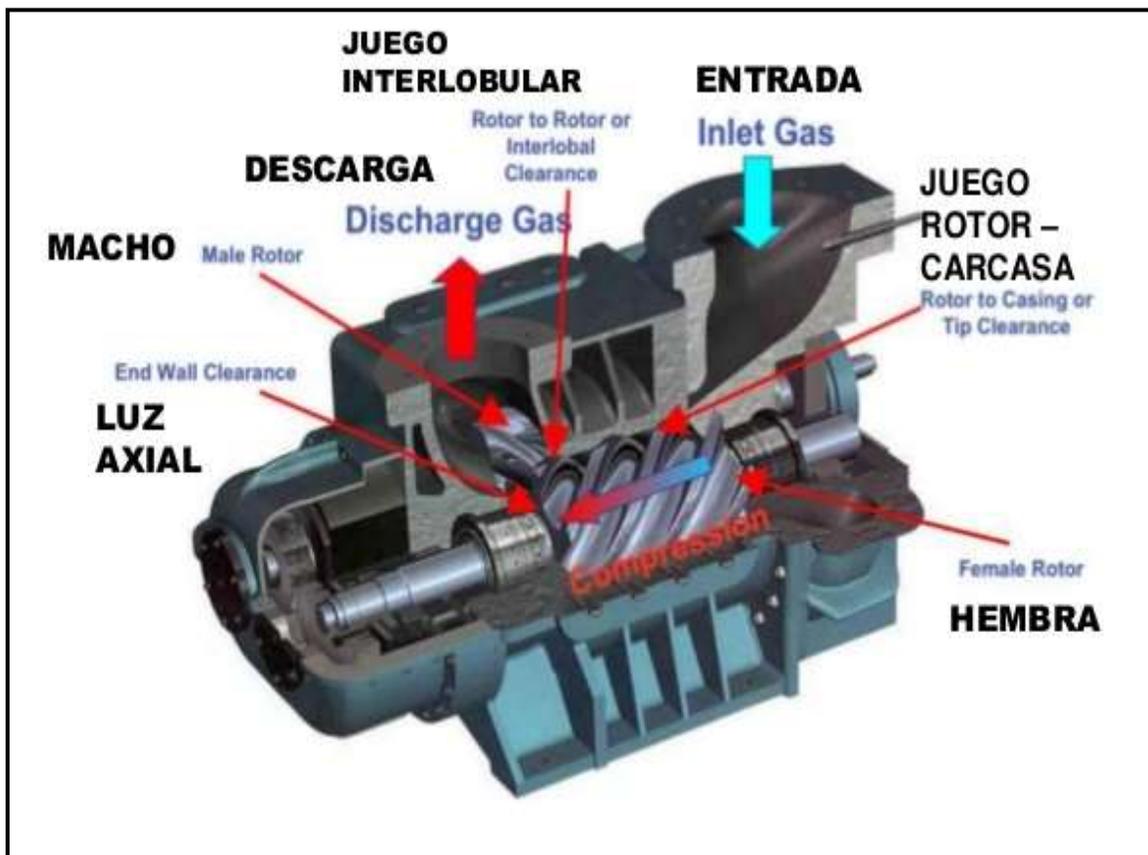


Figura 15. Compresor de tornillo seco (Angel, 2016)

#### 2.8.1.6 Compresor de tornillo lubricado.

Equipo de desplazamiento positivo. El principio de funcionamiento se basa en la disminución del volumen del aire en la cámara de compresión, produciendo el incremento de la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto, momento en el cual el aire es liberado al sistema. En el compresor de tornillo lubricado, se inyecta aceite en los rotores para lubricar, sellar y refrigerar el conjunto rotórico.

Los compresores de aire de tornillo lubricado cuenta con el sistema Total Air System (TAS), aire limpio y seco en una sola unidad que reduce al mínimo el coste y el espacio requeridos para la instalación. Protege el equipo aguas abajo con un secador frigorífico integrado que proporciona supresión de punto de rocío de hasta 46 °C de temperatura ambiente y 40% de humedad relativa.

Estos compresores traen incorporado el sistema Protección de control progresivo adaptable (Protección PAC), controla continuamente los parámetros claves de funcionamiento y se adapta para evitar paradas inesperadas. Permite asegurar un rendimiento máximo con indicadores de mantenimiento electrónicos en tiempo real y optimiza el consumo de energía, reduciendo el ruido, al ajustar la velocidad del ventilador. En la figura 16 presentamos el funcionamiento del compresor:

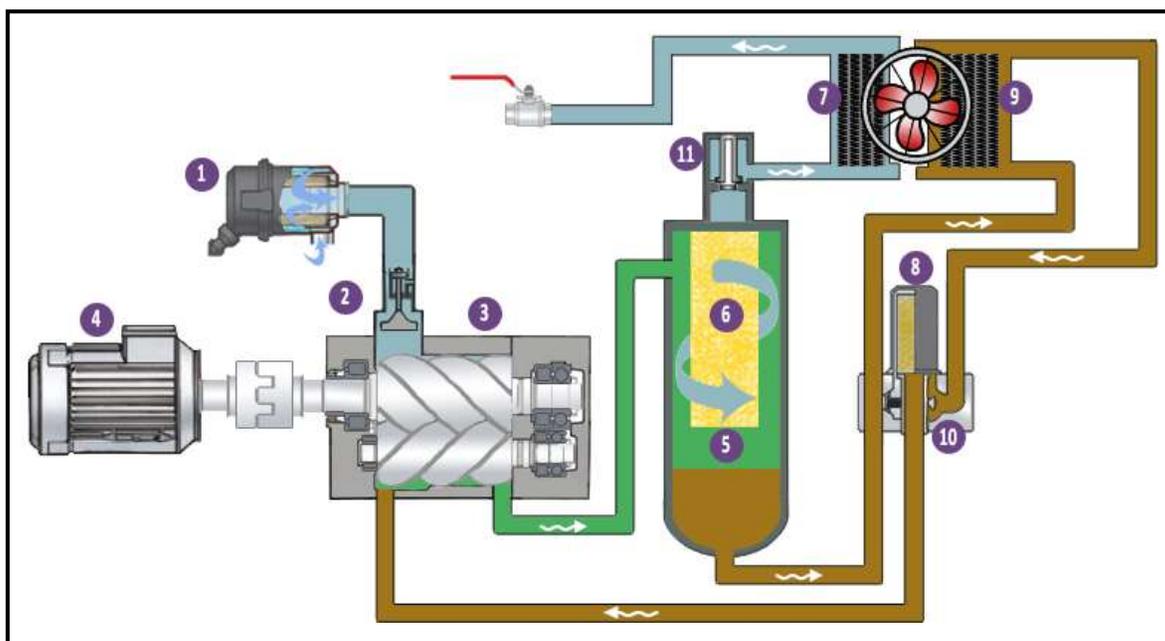


Figura 16. Funcionamiento interno del compresor de tornillo lubricado (mundocompresor, 2018)

Tabla 4. Localización de componentes del compresor de tornillo lubricado

1. Filtro	7. Intercambiadores de calor
2. Válvula	8. Sistema de filtrado
3. Rotores	9. Refrigerador
4. Motor de accionamiento	10. Válvula termostática
5. Recipiente de separación aire-aceite	11. Válvula de retención y mínima presión
6. Filtro separador	

El sistema TAS aumenta la fiabilidad y la eficiencia con una caída de presión menor que los secadores típicos y un intercambiador de calor 3 en 1 patentado. Reduce el tiempo y el

costo de las revisiones con mantenimiento y control en un punto único y evita las paradas no planificadas con Protección PAC, ajustando los parámetros de funcionamiento en respuesta a los cambios en las condiciones del filtro.

Posee tecnología V-Shield Diseño sin fugas con tubos de acero inoxidable y mangueras metálicas flexibles de larga vida útil. Sistema de refrigeración secuencial, que mejora significativamente la eficiencia, la capacidad de servicio y el nivel de ruido.

El Sistema de Recuperación de Energía (ERS) captura el calor del compresor y lo pone a trabajar, lo que le convierte en una manera rentable de reducir la factura de energía y contribuir con el medioambiente.

La Serie R cuenta con compresores de velocidad variable (VSD) Nirvana, que incluyen motor híbrido de imanes permanentes (HPM) de alta eficiencia para demandas variables de aire comprimido y compresores de velocidad fija más eficientes energéticamente para procesos con demanda constante.

### **2.8.2 Depósito o recipiente cerrado de aire comprimido.**

Almacenan el aire que procede de los equipos de compresión, es el pulmón del sistema. Pueden ser contruidos de acero al carbono, acero inoxidable u otro material que soporte altas presiones.

#### **Beneficios:**

- ❖ Estabiliza el suministro de aire comprimido, igualando los cambios de presión en la red al consumir aire comprimido.
- ❖ No necesita del funcionamiento continuo del compresor para alimentar el circuito, enfriando el compresor en las paradas.
- ❖ Reserva el aire a presión para garantizar la seguridad del circuito en caso de avería de componentes.

#### **Dispositivos:**

- ❖ Manómetro.
- ❖ Termómetro (Opcional).
- ❖ Válvula de seguridad.
- ❖ Válvula de cierre.
- ❖ Presóstato de máxima-mínima presión para controlar el compresor.

- ❖ Llave de purga para eliminar agua.
- ❖ Compuerta de limpieza.
- ❖ Placa de datos.

A continuación se muestra en la figura 17 los tipos de recipientes de presión:



Figura 17. Recipientes de presión (Consultora, 2011)

### 2.8.3 Decantador o separador de agua.



Figura 18. Decantador de agua (TodoNeumaticas, 2018)

Deposita el agua contenida en el circuito neumático en un recipiente para evitar que llegue a la maquinaria, eliminando la humedad, según figura 18.

#### **2.8.4 Acumulador de presión.**

El propósito principal de un acumulador es actuar como un depósito de aire. De la misma manera que algunos almacenes de depósito de agua potable reservan agua para un futuro, un acumulador de aire toma el aire de descarga del compresor y lo almacena para su uso en herramientas o instrumentos. Muchas herramientas se utilizan de manera intermitente. Si están conectadas directamente a un compresor de aire, o bien carecen de capacidad suficiente para funcionar adecuadamente o el compresor arranca y para con frecuencia, da lugar a un desgaste prematuro del compresor y a que se produzca una falla. En la siguiente figura 19, un acumulador de presión:



*Figura 19. Acumulador de aire comprimido (Festo, 2018)*

El acumulador proporciona una fuente constante de capacidad de aire. Mantiene estable la presión de aire comprimido y evita que el compresor se sobrecaliente.

#### **2.8.5 Red de distribución de aire por el taller.**

##### **2.8.5.1 Tuberías neumáticas.**

Una tubería es un conducto, normalmente un tubo, que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Una tubería neumática transporta aire comprimido a cierta presión, desde el acumulador hasta los puntos de trabajo o consumo.

Lleva el aire a presión a toda la instalación del taller. Es herméticamente sellada para que la presión de servicio sea estable.

Deben tener cierta pendiente o inclinación 1% o 2% para evitar acumular el agua condensada en el punto más bajo y daños a los mecanismos neumáticos. Empleo de tramos rectos, los codos provocan caídas de presión en la red neumática. Una longitud mínima para evitar las caídas de presión en la red. Cuando la distancia de la red es muy extensa debe conectarse otra tubería con el nivel de inclinación inicial (0%) y comenzar la inclinación nuevamente.

Las tuberías neumáticas se suelen elaborar con materiales muy diversos:

- ❖ Acero.
- ❖ Cobre.
- ❖ Acero galvanizado.
- ❖ Acero negro.
- ❖ Latón.
- ❖ Acero fino.
- ❖ Plásticos.

Para elaborar una instalación neumática de tuberías, se puede emplear tubos rígidos o tubos flexibles o una combinación de ambos. Una instalación, en la medida de lo posible, debe poder desarmarse fácilmente para las operaciones de mantenimiento y sus materiales deben ser resistentes a la corrosión.

Para elegir el material de la tubería que más nos conviene se debe de tener en cuenta los siguientes criterios de selección:

- ❖ El ambiente: presencia de agua, polvo, vapores. Baja o elevada temperatura. Presencia de sustancias corrosivas, etc.
- ❖ Presión del sistema y de trabajo.
- ❖ Sección de la tubería. La sección puede limitar el empleo de algunos materiales.
- ❖ Trazado de la instalación a lo largo del edificio o emplazamiento.
- ❖ Sometimiento a esfuerzos mecánicos.
- ❖ Frecuencia de maniobra del aire comprimido.

En la siguiente figura 20 se muestra un ejemplo de una instalación de tuberías de la red neumática:



Figura 20. Instalación de tuberías (MORANT, 2018)

#### **Ventajas e inconvenientes:**

- I. Si las tuberías se montan de un modo permanente mediante uniones soldadas, presenta la ventaja que la instalación limita casi a cero las pérdidas debido a la mejora de la estanqueidad y se abarata la instalación al no emplear uniones, racores, ni roscas. Como inconveniente una instalación de tuberías soldadas es más difícil de realizar cualquier modificación o cambio y debe asegurarse que la instalación quede fija permanentemente.
- II. En tuberías de acero, acero galvanizado, cobre, latón presenta el inconveniente que los empalmes roscados no siempre son herméticos o estancos. Como ventaja el galvanizado es un tratamiento electroquímico que aumenta la resistencia a la corrosión del material ante los agentes externos. El cobre y el latón con el paso del tiempo crea una película de oxidación que lo protege de la corrosión y el ambiente.
- III. Las roscas presentan la ventaja de un ensamblaje rápido y práctico, pero éstas también se oxidan, lo cual es un inconveniente, de ahí la importancia, en este tipo de instalaciones, el empleo de la unidad de mantenimiento.
- IV. Los tubos flexibles de plástico, PVC o goma solamente han de emplearse en aquellos casos donde se exige una flexibilidad en la tubería y no sea posible instalar tuberías de plástico rígido por los esfuerzos mecánicos existentes.

### 2.8.5.2 Uniones neumáticas.

Existen una gran variedad de accesorios y uniones para tubos. Son las piezas usadas para conectar y formar la tubería. Generalmente son de fundición o de fundición maleable, excepto los acoplamientos o coples, que son de hierro forjado o maleable. El cobre y latón se emplean para aplicaciones especiales. Mostramos en la figura 21 los accesorios de las uniones neumáticas, juntos con sus respectivas cañerías:



Figura 21. Accesorios para cañerías PVC (Directindustry, 2018)

Los accesorios de acero soldado a tope se emplean para unir tuberías de acero. Los accesorios para juntas soldadas con soldadura de plata u hojalatero se emplean para unir tubos de cobre. Los accesorios de fundición del tipo enchufe se emplean para unir tubos de fundición. Los accesorios de plástico se emplean para unir tubos de plásticos rígidos o flexibles.

Ante la gran variedad de uniones existentes en el mercado y número de fabricantes, se hace imposible incluirlos todos. A continuación se presentan algunos ejemplos:

- a) Tubos roscados entre sí con un asiento cónico hermetizado.
- b) Racor con casquillo.
- c) Racor con casquillo de acero o plástico.

- d) Racor con casquillo rebordeador.
- e) Racor roscado abocardado.
- f) Racor para tubos flexibles de goma o plásticos.
- g) Racor para tubos de plásticos.
- h) Empalmes para tubos de plástico.

A continuación en la figura 22, una simulación de una instalación con su variedad de uniones disponibles en los establecimientos comerciales:



Figura 22. Simulación de red neumática (MUNER Compressors, 2018)

En la siguiente figura 23 se muestra la colocación de más accesorios de una red neumática vendida al público en general:



Figura 23. Instalación de accesorios en tubería PVC de presión (air-man, 2018)

### 2.8.6 Grupo acondicionador o unidad de mantenimiento.

Mantiene el aire a presión limpio para lograr un buen funcionamiento y trabajo de las herramientas del taller. Está compuesto por un racor de unión, un soporte, un lubricador, un manómetro de control, un regulador y un purificador. En la figura 24 se observa cómo está compuesta una unidad de mantenimiento de un taller:



Figura 24. Componentes del grupo acondicionador (Técnicas de mecanizado para el mantenimiento de vehículos Grado medio , 2014)

- ❖ **Filtro:** Libera el aire comprimido de impurezas y del vapor de agua suspendido.
- ❖ **El lubricador:** Lubrica las herramientas, al insertar una pequeña cantidad de aceite en la red y prolongar su vida útil, evitando el desgaste prematuro de las piezas protegiendo componentes contra la corrosión.
- ❖ **Regulador:** Regula la presión de salida, presión de trabajo, suministrada a las máquinas y herramientas.

### 2.8.7 Actuadores.

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz

eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza, el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Para nuestro caso reciben la presión neumática y la transforman en fuerza lineal o de giro para accionar los cilindros y los motores neumáticos. En la figura 25 se aprecian las diferencias constructivas y de diseño de los cilindros de simple y doble efecto:

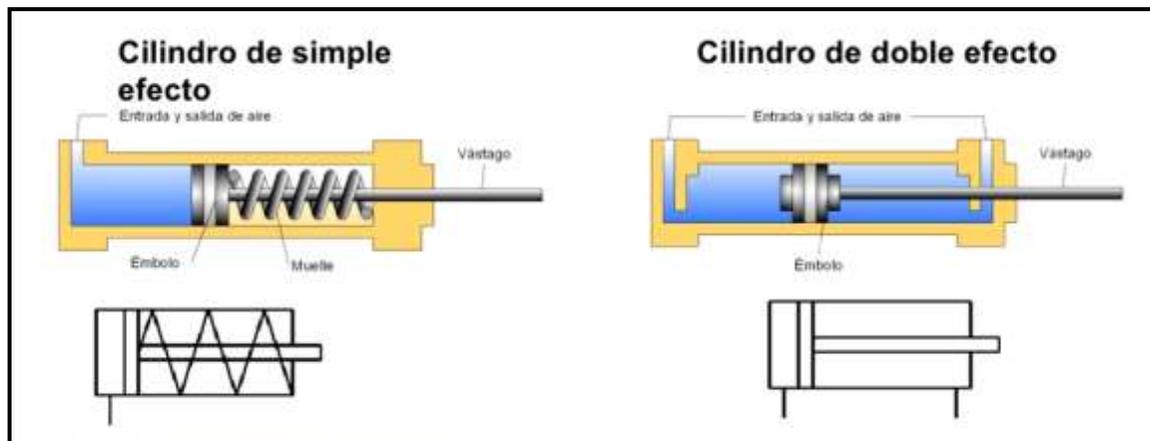


Figura 25. Simbología cilindros de simple y doble efecto (Nuñez, 2010)

### 2.8.8 Elementos de control de flujo o de mando.

Son instrumentos de control que abren, cierran, conectan y desconectan, regulan o aíslan una gama de líquidos y gases del circuito neumático.

Válvulas distribuidoras y de mando: Alimentan con presión de aire los actuadores y facilitan el escape de aire.

- ❖ **Válvulas de bloqueo y conmutación:** Controlan el paso del fluido.
- ❖ **Válvulas de caudal y presión:** Regulan el caudal que circula por un conducto y limitan la presión en el circuito.
- ❖ **Válvulas proporcionales:** Regulan y modifican la presión de salida continuamente en función de la señal eléctrica recibida.

En las figuras 26, 27, 28 y 29 se representan gráficamente y mediante símbolos los distintos elementos para controlar el fluido:

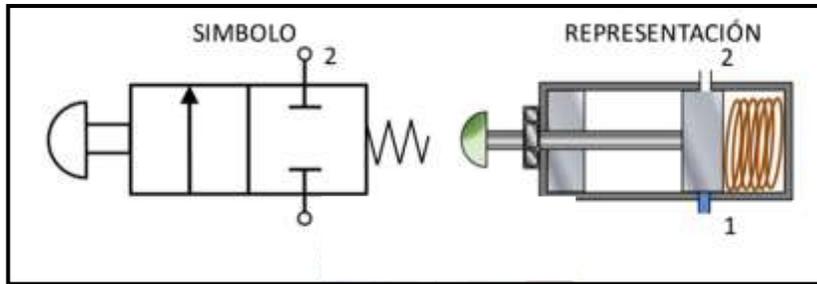


Figura 26. Símbolo y representación de una válvula de 2 vías y 2 posiciones (Cardenas, 2018).

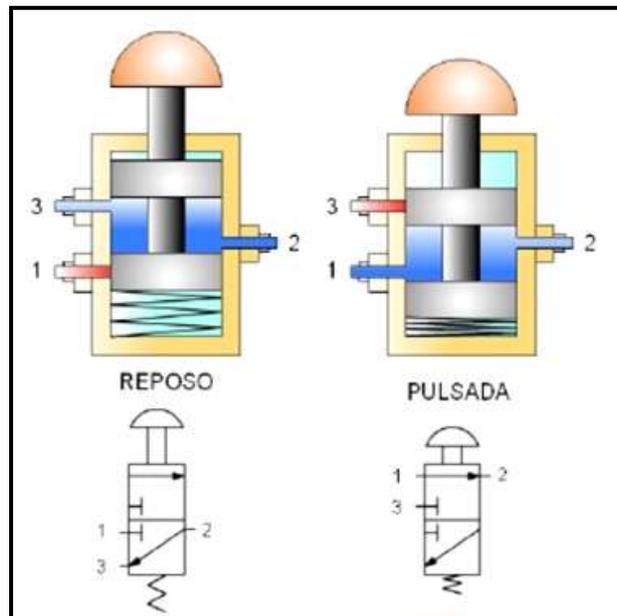


Figura 27. Símbolo y representación de una válvula de 3 vías y 2 posiciones (Alvaro, 2018).

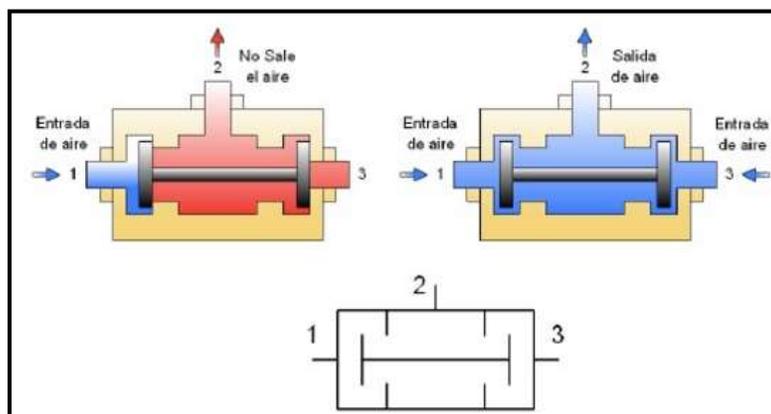


Figura 28. Símbolo y representación de una válvula AND (Google, 2018)

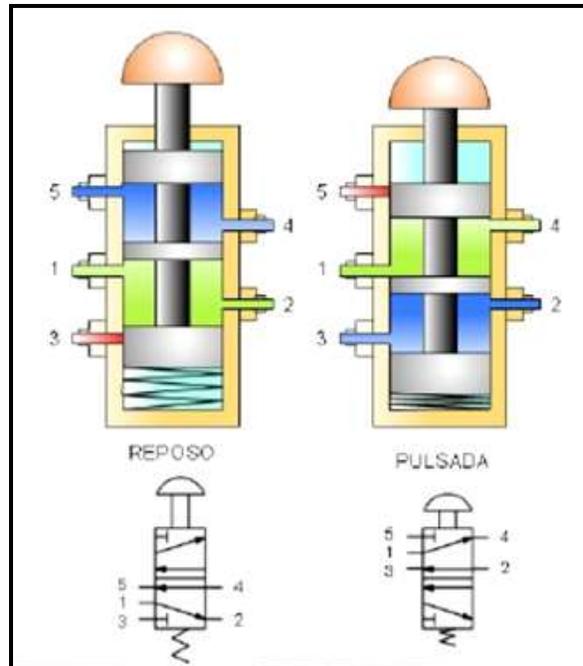


Figura 29. Símbolo y representación de una válvula de 5 vías y 2 posiciones (Control neumático, 2018).

### 2.8.9 Mangueras.

Una manguera neumática es aquella que conecta el aerógrafo con el compresor e interpone entre ellos un regulador de aire. La presión recomendada tiene que ser de 3 bares y un filtro para eliminar el agua, los restos de aceite y las partículas.

Este tipo de manguera neumática sirve para pistolas aerográficas, tanto por gravedad como por succión, además también se usa con otras herramientas neumáticas como el manómetro o pistolas de aire entre otras.

Conducen el aire presurizado que proviene de la unidad de mantenimiento hasta los cilindros actuadores o los mecanismos neumáticos. Existen gran variedad según las necesidades de trabajo de 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 milímetros (mm). Son de distintos colores para diferenciar las conexiones y transparentes para inspeccionar el estado del fluido.

También las hay de PVC blando, que son como las mangueras de agua de jardinería pero con otros componentes de fabricación, como regla general se usa para las herramientas en talleres ya que pueden soportar más presión. Las más aplicadas son las mangueras en espiral de poliamida y poliuretano extensible debido a su admisión de radios de curvatura, resistencia a la luz solar, la humedad, los desgarros y las vibraciones, expuestas en las figuras 30, 31 y 32:



Figura 30. Manguera en espiral de poliamida y poliuretano extensible (Jetoma, 2018)



Figura 31. Tubería estándar O.D. (Festo, 2018)

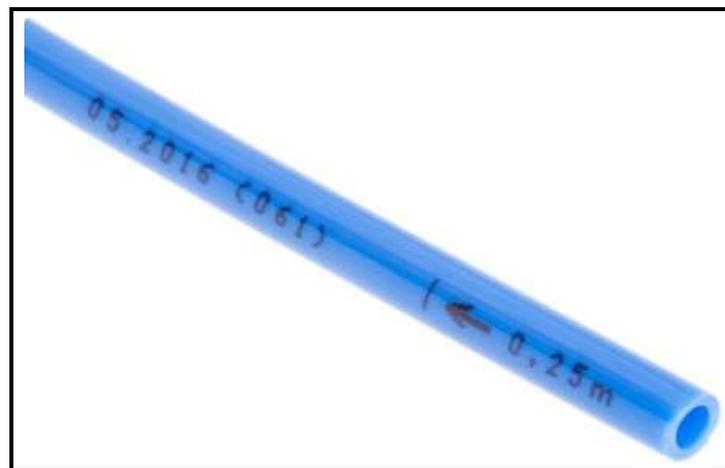


Figura 32. Manguera Azul Poliuretano Neumática Festo (Amidata, 2018)

#### 2.8.10 Conectores de enchufe rápido de tipo engatillable.

Un racor es una pieza metálica con o sin rosca interna en sentido inverso, que sirve para unir tubos, por ejemplo los cuadros de bicicletas, u otros perfiles cilíndricos.

Son la toma de conexión de las mangueras que facilitan y disminuyen el tiempo al trabajador para realizar su labor. En la figura 33 se exhibe el conector de acoplamiento con su boquilla de articulación giratoria de 360°:



Figura 33. Acoplamiento y boquilla con articulación giratoria de doble protección (Aguilera, 2018)

En la siguiente figura 34 se visualizan los distintos tipos de uniones para los conectores neumáticos:



Figura 34. Tipos de conectores neumáticos (Ecorsa, 2018)

## 2.9 Simbología y Terminología.

### 2.9.1 Colores de identificación de tuberías.

Según la diligencia las tuberías vienen determinadas por un color definido, la Norma NTE-INEM 440 tiene por objeto definir los colores, su significado y aplicación, que deben emplearse para identificar tuberías que transportan fluidos, en instalaciones artesanales, comerciales e industriales.

Esta norma se aplica según la importancia de las tuberías y la naturaleza del fluido, de acuerdo a una de las modalidades siguientes:

- ❖ Solamente por los colores de identificación.
- ❖ Mediante el color de identificación y nombre del fluido.
- ❖ Mediante el color de identificación, nombre del fluido e indicaciones de código.

### 2.9.2 Terminología.

- ❖ **Color de identificación.** Cualquiera de los definidos en esta norma utilizados para tuberías.
- ❖ **Tubo/tubería.** Para efectos de esta norma, cualquier conducto para fluidos con su recubrimiento exterior, incluyendo accesorios, válvulas, etc.
- ❖ **Fluido.** Para efectos de esta norma, toda sustancia líquida o gaseosa que se transporta por tuberías.

### 2.9.3 Clasificación de los fluidos

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características, de acuerdo con su comportamiento viscoso que presentan en:

- ❖ Fluidos perfectos o superfluidos
- ❖ Fluidos newtonianos
- ❖ Fluidos no newtonianos

Respecto a su densidad y tipo de movimiento de las moléculas y el estado físico un fluido puede ser clasificado en:

- ❖ Líquido
- ❖ Vapor
- ❖ Gas

Los fluidos transportados por tuberías se dividen, para efectos de identificación, en diez categorías, a cada una de las cuales se le asigna un color específico, según la Tabla 5.

Tabla 5. *Clasificación de fluidos* (INEN, 2018)

FLUIDO	CATEGORIA	COLOR
Agua	1	verde
Vapor de agua	2	gris-plata
Aire y oxígeno	3	azul
Gases combustibles	4	amarillo ocre
Gases no combustibles	5	amarillo ocre
Ácidos	6	anaranjado
Álcalis	7	violeta
Líquidos combustibles	8	café
Líquidos no combustibles	9	negro
Vacío	0	gris
Agua o vapor contra incendios	-	rojo de seguridad
GLP (gas licuado de petróleo)	-	blanco

#### 2.9.4 Clave de fluidos.

El código de fluidos debe indicarse si en un equipo se utilizan varios fluidos diferentes. Constituido mediante letras. Si únicamente se utiliza un fluido, puede prescindirse de su indicación. En la tabla 6 se distingue cada uno de los códigos aplicados de acuerdo al fluido:

Tabla 6. *Código de fluidos para equipos de técnica de fluidos* (Festo , 2018)

H	Hidráulica
P	Neumática
C	Refrigeración
K	Lubricantes refrigerantes
L	Lubricación
G	Técnica de gases

#### 2.9.5 Símbolos neumáticos.

Dentro de las diferentes ramas de la ingeniería encontramos el término “simbología”, el cual esta normalizado por diferentes entes de control y cuya finalidad es poder interpretar adecuadamente las ideas, conceptos del diseño y su funcionamiento.

Por esta razón, la electricidad, electrónica, refrigeración, neumática, hidráulica, arquitectura, mecánica, instalaciones sanitarias, soldadura y muchas otras ramas técnicas y científicas se acogen a normativas propias y aplicables a su actividad.

Un símbolo es *"La representación perceptible de una idea, con rasgos asociados por una convención socialmente aceptada. Es un signo sin semejanza ni contigüidad, que solamente posee un vínculo convencional entre su significante y su denotado, además de una clase intencional para su designado"*. (Automatización industrial, 2018)

Para representar los elementos de un sistema neumático en los esquemas de circuito se utilizan símbolos, los cuales explican la función que asume un elemento en un determinado esquema. Éstos, de acuerdo con la definición, no dan ninguna orientación sobre el método constructivo de la válvula o cualquier otro dispositivo de control u operación, solamente indican su función.

Existen varias convenciones y sistemas relativos a los símbolos utilizados en neumática, usados por todo el mundo y oficialmente reconocidos mediante normas estándar. Uno de los más importantes y utilizados tiene relación con la norma DIN ISO 1219-1, otros de gran reconocimiento son el IRAM 4542, Festo, el SMC y el UNE-101-149-86.

A la hora de automatizar es imprescindible tener el conocimiento de esos símbolos. Es recomendable tener documentación relacionada al respecto o saber dónde conseguirla. Además es necesario conseguir archivos CAD de todos los elementos, para realizar planos de las instalaciones diseñadas.

### **2.9.6 Esquema neumático**

Al igual que los circuitos eléctricos, los circuitos neumáticos también se representan con esquemas. Para ello hace falta conocer la simbología de los elementos neumáticos de las diversas normas. Mediante la siguiente tabla 7 exponemos las normativas relacionadas con la representación de los símbolos neumáticos:

Tabla 7. *Símbolos neumáticos* (Neumaticos, 2018).

Simbología neumática			
Fuente de presión		Escape de aire	
Cruce de conducciones		Filtro	
Unidad de mantenimiento		Compresor	
Depósito de aire comprimido		Lubricador	
Separador de agua		Válvula antirretorno	
Llave de paso		Regulador unidireccional	
Regulador de caudal		Válvula de simultaneidad	
Válvula selectora de circuito		Válvula secuencial	
Válvula de escape rápido		Válvula reguladora de presión sin escape	
Válvula reguladora de presión con escape		Válvula 3/2	
Válvula 2/2 NC		Válvula 5/2	
Válvula 4/2		Electroválvula	
Cilindro de simple efecto		Temporizador neumático NC	
Cilindro de doble efecto		Válvula 4/3	
Conducción de mando		Unión entre conductores	

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

#### 3.1 Parámetros de operación

Al trazar una instalación de aire comprimido hay que tomar en cuenta ciertas disposiciones, de manera que se ajuste a las necesidades del usuario, procure la máxima economía de funcionamiento y esté dispuesta para una futura ampliación.

La base es la aplicación o el proceso que manejará el aire comprimido. Por lo tanto, hay que principiar por detallar éstos como punto de partida de todas las demás diligencias del proyecto.

Hay que calcular o evaluar las necesidades de aire, la capacidad de reserva y el área para futuras ampliaciones. La presión de trabajo es un componente crítico, ya que perturba de manera significativa al uso o consumo de energía. A veces puede resultar económico emplear otros compresores para diferentes niveles de presión.

La calidad del aire comprimido no reside sólo en el contenido de agua; cada vez está más encauzada también a los aspectos medioambientales. Los olores y el contenido de microorganismos son factores trascendentales que consiguen perturbar a la calidad del aire, a los rechazos de elaboración o producción, al entorno de trabajo y al medioambiente externo. La decisión de si la instalación debe ser concentrada o descentralizada puede afectar al área de suelo necesario y quizás a los futuros propósitos de crecimiento.

Desde el punto de vista monetario y ecológico, cada vez es más importante indagar las posibilidades de recobrar energía en una etapa anticipada para lograr un retorno vertiginoso de la inversión. También se debe examinar estas disputas pensando en las insuficiencias presentes y futuras. Sólo después de hacerlo, será dable delinear una instalación que ofrezca la suficiente flexibilidad.

##### 3.1.1 Cálculo de la presión de trabajo

Los dispositivos neumáticos de una instalación establecen la presión de trabajo adecuada, que no obedece sólo del compresor, sino también del diseño del sistema de aire comprimido y sus tuberías, válvulas, secadores, filtros, etc.

Cada prototipo de equipo consigue demandar una presión desigual dentro del propio sistema. Habitualmente, el valor de presión más caro es el que establece la presión de la

instalación. Para los otros equipos se emplazarán válvulas reductoras de presión en el punto de consumo. En casos más exagerados, este procedimiento puede resultar antieconómico y la medida podría ser un compresor autónomo para atender las penurias exclusivas.

Además, debe tenerse en cuenta que la caída de presión aumenta rápidamente con el caudal. Si se avizoran cambios de uso o consumo, tiene sentido, desde el punto de vista financiero, adecuar la instalación a estas situaciones.

Los filtros, especialmente los de polvo, tienen una caída de presión inicial baja, pero con el tiempo se obstruyen y deben ser sustituidos a la caída de presión recomendada. Este factor se incluirá en el cálculo.

La regulación del caudal del compresor también ocasiona variaciones de presión que deberán incluirse en la evaluación. Puede ser conveniente realizar los cálculos usando el ejemplo de la siguiente tabla:

Tabla 8. *Presiones que intervienen en el proyecto.* (Copco, 2015)

<b>Descripción</b>	<b>Caída de presión, bar</b>
Usuario final	6
Filtro final	0,1–0,5
Sistema de tuberías	0,2
Filtro de polvo	0,1–0,5
Secador	0,1
Rango de regulación del compresor	0,5
Máxima presión de trabajo del compresor	7,0–7.8

Son principalmente los puntos de consumo y la caída de presión entre éstos y el compresor los que determinan la presión que la máquina debe producir. La presión de trabajo se puede determinar sumando la caída de presión del sistema, como se muestra en el ejemplo anterior.

### **3.1.2 Cálculo del consumo de aire**

El empleo nominal de aire comprimido se establece en base de los distintos consumidores. Se deduce sumando el consumo de todas las herramientas, artefactos y procesos que se vincularán, teniendo en cuenta su factor de utilización fundado en la práctica.

Además, conviene considerarse desde el principio los escapes o fugas, el deterioro y las permutaciones predecibles en lo posterior.

Un procedimiento estricto para deducir las insuficiencias presentes y futuras reside en precisar el aire que necesitan los equipos conectados y el factor de utilización. Para cumplir

este tipo de cálculo hay que concebir una lista de las máquinas, con su concerniente consumo de aire y el factor de utilización conocido.

Si no se dispone de los datos de consumo de aire o del factor de utilización, se pueden emplear valores estándares. El factor de utilización de las herramientas puede resultar difícil de calcular; por tanto, los valores de cálculo se deberán comparar con el consumo medido en aplicaciones similares.

Por ejemplo, los mayores consumidores de aire, como amoladoras y artefactos de chorreo de arena, suelen usarse durante largos espacios (3–10 minutos) en funcionamiento continuo, a pesar de su bajo factor de utilización global. No se trata en realidad de un trabajo intermitente, por lo que es inevitable deducir cuántas máquinas se utilizarán paralelamente para establecer el consumo de aire integral. La capacidad del compresor se determina esencialmente por el consumo nominal de aire comprimido.

El caudal de salida libre del compresor implicará resguardar este consumo. El volumen de reserva calculada se conviene esencialmente por el costo de pérdida de producción reflejada de un posible fallo de abastecimiento de aire comprimido.

El número de compresores y su tamaño se determinan principalmente por el grado de flexibilidad deseado, el sistema de control y la eficiencia energética. En instalaciones con un solo compresor debido a restricciones de diseño o de costes, el sistema se puede preparar para conectar rápidamente un compresor transportable cuando se realice el mantenimiento. También se puede emplear un compresor antiguo como fuente de reserva económica.

### **3.1.3 Medición del aire requerido**

Un análisis operativo proporciona factores claves sobre las necesidades de aire comprimido y sirve de base para evaluar la cantidad óptima que se debe producir. La mayoría de las empresas industriales y consumidores de aire comprimido están en constante evolución, lo que significa que también cambian sus necesidades de dicho fluido.

Por tanto, es importante que el suministro de aire comprimido esté basado en las condiciones existentes, considerando un margen adecuado para una futura ampliación.

Un examen operativo involucra la comprobación de los datos de funcionamiento, mejorado si es posible con un análisis profundo de una instalación de aire comprimido parecido durante un período de tiempo conveniente. Las mediciones corresponderán realizarse al menos durante una semana en situaciones de movimiento o funcionamiento normales para alcanzar unos

datos correctos. Los resultados de las mediciones asimismo consienten aparentar diferentes instalaciones cuyo objeto es investigar la combinación más favorable.

Al bosquejar la instalación también deberán tenerse en cuenta factores como los períodos de carga y descarga. Estos datos ofrecen de base para valorar el factor de carga y las necesidades de aire comprimido, repartidas a lo largo de una jornada o una semana laboral. El factor de carga no se puede determinar sencillamente del cuentahoras del compresor. Un estudio operativo también se utiliza para conjeturar la recuperación de energía potencial.

Con insistencia se puede recobrar más del 90% de la energía gastada. Además, el análisis puede dar contestación a asuntos relacionados con el dimensionado y el procedimiento de funcionamiento de la instalación. Por ejemplo, en muchos casos se puede establecer si es posible reducir la presión de trabajo en explícitos momentos, y el sistema de control se puede cambiar para mejorar el manejo de los compresores con los cambios de producción. Asimismo es primordial evidenciar si existen fugas.

Para la producción de pequeñas cantidades de aire durante la noche y los fines de semana, hay que pensar si merece la pena instalar un compresor de menor capacidad para cubrir estas necesidades.

#### **3.1.4 Calidad del aire**

El aire comprimido de alta calidad reduce la necesidad de mantenimiento, aumenta la fiabilidad del sistema neumático, del sistema de control y de la instrumentación, a la vez que limita el desgaste de las máquinas neumáticas. Si el sistema se concibe desde el principio para suministrar aire comprimido seco y exento de aceite, la instalación será más simple y menos cara, ya que no será necesario instalar un separador de agua en el sistema de tuberías. Cuando el aire está seco, no hay necesidad de descargarlo a la atmósfera para eliminar la condensación. Tampoco es necesario drenar los condensados de las tuberías, con lo cual se reducen los costos de instalación y mantenimiento. La solución más económica es instalar un secador directamente después del compresor.

La descentralización de los módulos de tratamiento de aire, con varias unidades pequeñas repartidas en el sistema, resulta más cara y dificulta el mantenimiento del sistema.

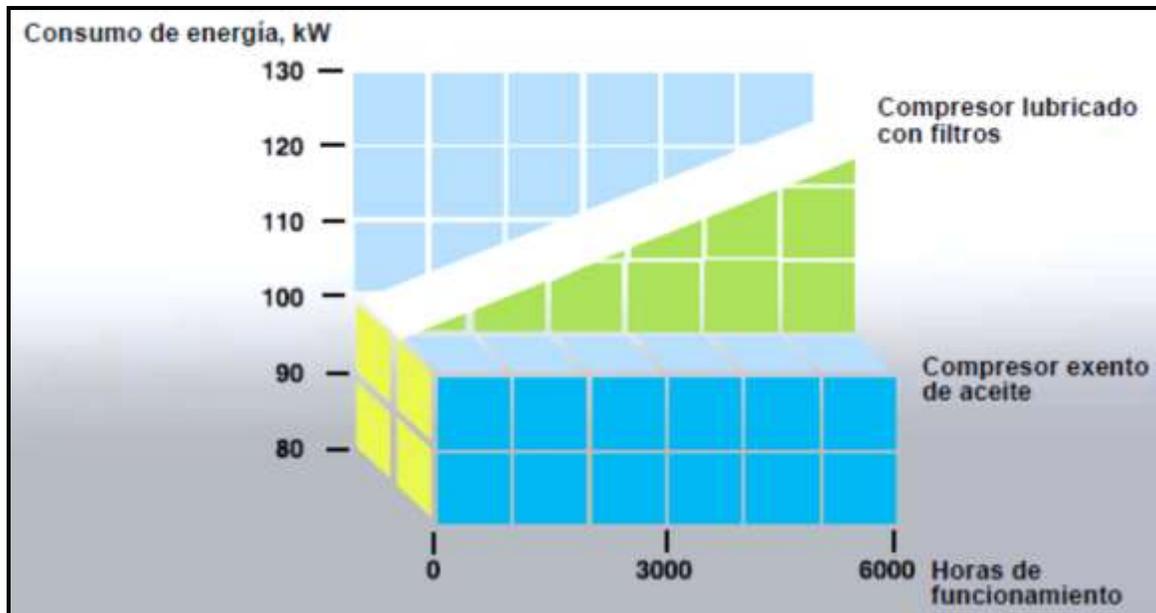


Figura 35. Consumo de energía por hora del compresor lubricado por aceite y sin aceite (Copco, 2015)

La experiencia ha demostrado que la reducción de costos de instalación y de mantenimiento de un sistema con aire comprimido seco cubrirá el costo de inversión del equipo de secado. La rentabilidad es muy alta, incluso cuando es necesario añadir un equipo de secado a las instalaciones existentes.

Los compresores exentos de aceite no necesitan separador de aceite ni un equipo para depurar los condensados. Ver figura 35. Tampoco se necesitan filtros, por lo que se eliminan los costos de sustitución. Además, como no es necesario compensar la caída de presión que se produce en los filtros, se puede reducir la presión de trabajo del compresor, lo que contribuirá a mejorar aún más la economía de la instalación.

### 3.2 Tratamiento del aire

El aire de aspiración del compresor debe estar limpio y libre de contaminantes sólidos y gaseosos. Las partículas de suciedad y los gases corrosivos pueden producir desgaste y daños en el compresor. La entrada de aire del compresor se encuentra normalmente en una abertura de la carrocería insonorizada, pero también se puede colocar a mayor distancia, en un lugar donde el aire sea lo más limpio posible.

La contaminación por gases procedentes de los humos de escape de vehículos puede ser letal si se mezcla con el aire que respiramos. Se deberá usar un prefiltro (ciclónico, de panel o rotativo de banda) en instalaciones donde el aire circundante tenga una alta concentración de

polvo. En estos casos, debe tenerse en cuenta, en la fase de diseño, la caída de presión producida por el prefiltro.

También es beneficioso que el aire de aspiración esté frío. Por tanto, puede ser conveniente canalizarlo a través de una tubería separada, desde el exterior del edificio hasta el compresor. En este caso, es importante usar tuberías resistentes a la corrosión, dotadas de una malla en la entrada y diseñadas de modo que no exista riesgo de que penetre nieve o lluvia en el compresor. También es importante usar tuberías de diámetro suficiente para que la caída de presión sea la menor posible.

El diseño de las tuberías de entrada de los compresores de pistón es particularmente crítico. La resonancia de las tuberías procedente de las ondas estacionarias acústicas ocasionadas por la frecuencia pulsatoria cíclica del compresor, puede provocar daños en las tuberías y en la máquina, producir vibraciones y afectar al entorno con el molesto ruido de baja frecuencia.

“Para nuestro proyecto, en el cual nuestro equipo estará instalado dentro de un galpón de 255 m<sup>2</sup>, donde no existen agentes atmosféricos (niebla, nieve, lluvia, humedad, sol), ni factores químicos que se interpongan; solo esporádicas cantidades de humo, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOX). La unidad de aire comprimido no requiere elementos adicionales para la entrada de aire de aspiración”. (Campaña, 2018)

Es fundamental que el aire comprimido sea de la calidad apropiada. Si el producto final toma contacto con aire viciado, es viable que los costos por rechazos se vuelvan inaceptablemente altos y el recurso más barato se convierta rápidamente en el más caro. Es importante que la calidad del aire comprimido recaiga en los requisitos de la producción, e incluso pretender pronosticar las necesidades futuras.

El aire comprimido puede contener sustancias no deseadas, por ejemplo, agua en forma de gotas o vapor, aceite en forma de gotas o aerosol y polvo.

Dependiendo del campo de aplicación del aire comprimido, estas sustancias suelen aquejar negativamente a la producción e incluso acrecentar los costos. El tratamiento del aire tiene como objetivo producir la calidad del aire comprimido requerida por el consumidor.

Una vez que esté claramente definido el papel del aire comprimido en un proceso será más fácil encontrar el sistema que sea más rentable y eficiente para esa situación específica.

Entre otras cosas, deberemos establecer si el aire comprimido estará en contacto directo con el producto o si, por ejemplo, se puede aceptar neblina de aceite en el entorno de trabajo. Es necesario un método sistemático para seleccionar el equipo adecuado.

### **3.2.1 Vapor de agua en el aire comprimido**

El aire de la atmósfera contiene siempre humedad en forma de vapor de agua. Lo mismo sucede con el aire comprimido. Esta circunstancia puede ocasionar problemas, como por ejemplo: altos costos de mantenimiento, reducción de la vida útil y deterioro del rendimiento de las herramientas, elevado índice de rechazos en el caso de pintura por pulverización e inyección de plásticos, aumento de las fugas, perturbaciones en el sistema de control y en la instrumentación, reducción de la vida útil de las tuberías debido a la corrosión y, en definitiva, una instalación más cara. El agua se puede separar utilizando refrigeradores posteriores, separadores de condensación, secadores frigoríficos y secadores de absorción. Un compresor que funciona con una sobrepresión de 7 bares, comprime el aire a  $7/8$  de su volumen.

En paralelo, se reduce en  $7/8$  la capacidad del aire para retener el vapor de agua. La cantidad de agua que se libera es considerable. Por ejemplo, un compresor de 100 Kw que aspira aire a  $20^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa del 60% desprenderá alrededor de 85 litros de agua durante un turno de 8 horas. Por consiguiente, la cantidad de agua a separar depende de la aplicación del aire comprimido. A su vez, esto determina la combinación adecuada de refrigeradores y secadores.

### **3.2.2 Aceite en el aire comprimido**

La cantidad de aceite en el aire comprimido depende de varios factores, como el tipo de compresor, diseño, edad de la instalación y condiciones de trabajo.

En este aspecto, hay dos diseños principales de compresor: los que funcionan con lubricante en la cámara de compresión y los que no usan lubricante.

En los compresores lubricados, el aceite participa en el proceso de compresión y acompaña al aire comprimido, totalmente o en parte. Pero en los modernos compresores de pistón y tornillo, la cantidad de aceite es muy limitada. Por ejemplo, en un compresor de tornillo lubricado, el contenido de aceite en el aire es menor de  $3\text{ mg/m}^3$  a  $20^{\circ}\text{C}$ .

Este contenido se puede reducir aún más con filtros multietapa. Si se elige esta solución, es importante tener en cuenta los requisitos de calidad, los riesgos y los costos de energía.

### **3.2.3 Microorganismos en el aire comprimido**

Más del 80% de las partículas que contaminan el aire comprimido tienen un tamaño inferior a 2  $\mu\text{m}$ , por lo que pueden pasar fácilmente a través del filtro de aspiración del compresor. Desde este punto, las partículas se dispersan a través de la tubería y se mezclan con el agua, los residuos de aceite y los depósitos acumulados. Esto puede provocar el crecimiento de microorganismos. Un filtro situado directamente después del compresor puede eliminar estos riesgos. Sin embargo, para obtener aire comprimido puro hay que tener pleno control del crecimiento bacteriano después del filtro. La situación se complica más debido a que los gases y aerosoles se pueden concentrar en gotas (por concentración o carga eléctrica) incluso después de pasar por varios filtros. Los microorganismos germinan a través de las paredes del filtro, por lo que existen en las mismas concentraciones en los lados de entrada y salida del mismo. Los microorganismos son extremadamente pequeños e incluyen bacterias, virus y bacteriófagos. Normalmente las bacterias tienen un tamaño de 0,2  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ , y los virus de 0,3  $\mu\text{m}$  a 0,04  $\mu\text{m}$ .

Los contaminantes de menos de 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, incluidos los microorganismos, pueden pasar fácilmente por el filtro de aspiración del compresor. A pesar de su tamaño, estos microorganismos representan un problema grave en muchas industrias, ya que pueden multiplicarse libremente en las condiciones adecuadas. Las investigaciones han descubierto que los microorganismos proliferan en sistemas de aire comprimido sin secar y con una elevada humedad relativa (100%). El aceite y otros contaminantes actúan como nutrientes que favorecen el crecimiento de microorganismos. El tratamiento más eficaz consiste en secar el aire hasta una humedad relativa de <40% (se puede lograr con cualquier tipo de secador) e instalar un filtro estéril en el sistema que se debe montar en una carcasa que permita la esterilización por vapor in-situ o que pueda abrirse fácilmente. La esterilización debe realizarse con frecuencia para mantener una buena calidad del aire.

### **3.2.4 Filtros**

Los filtros de fibra modernos son muy eficaces para eliminar el aceite. Sin embargo, es difícil registrar con precisión la cantidad de aceite que queda en el aire después de filtrarlo, ya que la temperatura, entre otros factores, tiene una secuela importante en el proceso de separación. La eficiencia del filtro además se ve perturbada por la concentración de aceite en el aire comprimido y por la cantidad de agua libre. Los datos indicados en la especificación

del filtro se describen siempre a una temperatura del aire específica, habitualmente 21°C. Esto concierne aproximadamente a la temperatura después de un compresor refrigerado por aire funcionando a una temperatura ambiente de 10°C. No obstante, los cambios climáticos y estacionales pueden ocasionar transiciones de temperatura que perturbarán, a su vez, a la capacidad de separación del filtro.

Para conseguir resultados óptimos, el aire debe estar lo más seco posible. Los filtros de aceite, de carbón activado y los filtros estériles no prometen buenos resultados si hay agua libre en el aire (las especificaciones del filtro no gobiernan en estas situaciones).

Los filtros de fibra sólo consiguen eliminar aceite en forma de gotitas o aerosoles. El vapor de aceite se debe eliminar utilizando un filtro de carbón activado. Un filtro de fibra correctamente instalado, junto con un prefiltro apropiado, puede disminuir la cantidad de aceite en el aire comprimido hasta aproximadamente 0,01 mg/m<sup>3</sup>. Un filtro de carbón activado puede reducir la cantidad de aceite a 0,003 mg/m<sup>3</sup>. El carbón activado cubre una gran superficie interna. Puede absorber del 10 al 20% de su propio peso en aceite.

Por lo tanto, un filtro recubierto de polvo de carbón activado sólo contiene una poca cantidad de dicho polvo. Esto delimita su vida útil, y su uso está condicionado a 20°C. Los filtros de carbón activado granular poseen una gran cantidad de carbón activado. Esto hace que trasciendan más adecuados para muchas aplicaciones (incluso a altas temperaturas) y conserven una larga vida útil.

La temperatura del aire interviene en esta vida de prestación. La cantidad de vapor de aceite acrecienta exponencialmente con la temperatura. Los filtros de carbón activado deben contener la cantidad adecuada de carbón y estar diseñados para establecer o implantar la menor caída de presión permisible.

Sólo eliminan la contaminación del aire en forma de vapor y deben ir precedidos de otros filtros apropiados. Para conseguir un efecto óptimo, los filtros también deben colocarse lo más cerca posible de la aplicación en cuestión. Además, se deben comprobar con regularidad y sustituir a los intervalos adecuados. Un compresor exento de aceite elimina la necesidad de filtros de aceite. Esto significa que puede funcionar a menor presión de descarga, reduciendo así el consumo de energía. Se ha comprobado, en muchos casos, que los compresores exentos de aceite son la mejor solución, tanto desde el punto de vista económico como de calidad del aire.

### **3.2.5 Refrigerador posterior**

Después de la compresión, el aire está caliente, usualmente a una temperatura de 70–200°C. Para disminuir esta temperatura se utiliza un refrigerador posterior que, a su vez, además reduce el contenido de agua. Actualmente, este refrigerador se acostumbra incluir como equipamiento estándar en cualquier instalación de compresor. El refrigerador posterior se debe instalar siempre directamente después del compresor. El intercambiador de calor enfría el aire caliente y luego precipita, lo más rápidamente posible, la mayor parte del agua condensada, que de lo contrario fluiría al sistema. El refrigerador posterior puede ser enfriado por agua o por aire, y está dotado habitualmente de un separador de humedad con purga automática.

### **3.2.6 Separador de humedad**

La mayoría de las instalaciones de compresores tienen un refrigerador posterior y un separador de humedad, para separar la mayor cantidad posible de agua condensada del aire comprimido. Con la elección y el tamaño adecuados del separador de agua, se puede conseguir una eficiencia del 80-90%. El agua restante sigue con el aire comprimido hasta el depósito en forma de condensado.

### **3.2.7 Separación de aceite / agua**

El aceite en forma de gotitas se separa parcialmente en un refrigerador posterior, un separador de condensación o un grifo de purga, y sigue a través del sistema con el agua condensada. Esta emulsión de aceite/agua está clasificada, desde el punto de vista medioambiental, como aceite usado y no se debe verter en el sistema de alcantarillado ni directamente en la naturaleza.

Cada vez surgen leyes nuevas y más inflexibles sobre la gestión o comisión de residuos peligrosos para el medioambiente. El drenaje y la recogida de los condensados son complejos y costosos. Una solución fácil y económica para este problema consiste en instalar un separador de aceite/agua, por ejemplo, con un filtro de membrana que origine un agua de drenaje limpia y depositar el aceite en un depósito específico.

## **3.3 Recuperación de energía**

Cuando el aire se comprime, se forma calor. La energía térmica se extrae y se convierte en calor antes de que el aire comprimido se distribuya en el sistema de tuberías. Hay que

cerciorarse de que la capacidad de refrigeración sea suficiente y fiable para cada instalación de aire comprimido. Para la refrigeración se puede usar el aire exterior o un sistema de agua, como la red municipal, agua de arroyo o agua de proceso, en un sistema abierto o cerrado.

Numerosas instalaciones de aire comprimido brindan grandes posibilidades de ahorro, repetidamente malgastadas, en forma de recuperación de energía del agua de refrigeración. En las grandes industrias, los costos de energía consiguen remontar al 80% del costo total de producción del aire comprimido. Por ejemplo, es viable recuperar hasta el 94% de la energía proporcionada al compresor en forma de agua a 90°C en el caso de compresores de tornillo libres de aceite.

Este hecho pone de manifiesto que las medidas de ahorro proporcionan un rápido e importante retorno de la inversión. Una planta de compresores de una gran empresa que consume 500 Kw durante 8.000 horas de funcionamiento al año representa un consumo de energía anual de 4 millones de kWh. Las posibilidades de recuperar este calor residual a través de aire o agua caliente son reales.

El retorno de la inversión en recuperación de energía es regularmente de 1–3 años. Cuanto más constante sea el nivel de temperatura en un sistema de refrigeración cerrado, mejores serán las condiciones de funcionamiento, la fiabilidad y la vida de servicio o prestación de la instalación.

Los países nórdicos son en cierto modo predecesores en esta materia y la recuperación o rescate de energía es práctica usual desde hace mucho tiempo en las instalaciones de compresores. La generalidad de los compresores de tamaño mediano a grande de los trascendentales constructores son adecuados para integrar equipos estándar de recuperación de calor residual.

### **3.3.1 Compresor**

No hace mucho tiempo, la adquisición de un compresor implicaba la compra del motor eléctrico, el equipo de arranque, el refrigerador posterior, los filtros de aspiración, etc.

Del mismo modo, el interesado tenía que explorar a fondo los requerimientos de capacidad y calidad con todos los vendedores de los diferentes componentes. El objetivo era avalar que todos los equipos fuesen compatibles o concurrentes con el compresor. Actualmente, el compresor consta con todos los accesorios para su instalación. Un paquete compresor tiene un bastidor donde van montados tanto el compresor como los accesorios.

Todas las conexiones internas entre los distintos elementos se ejecutan en fábrica. El paquete compresor completo está albergado en una carrocería insonorizada para disminuir el nivel sonoro. Esto ha permitido una importante simplificación de la instalación. Un ejemplo claro de este concepto es el denominado compresor WorkPlace, que concentra sistemas de acondicionamiento del aire comprimido totalmente integrados (secador, filtro, purgador de condensado, etc.) así como medidas muy eficaces de disminución del ruido y la vibración.

Para elegir el compresor adecuado cuando las condiciones ambientales son diferentes de las indicadas en la hoja de datos, hay que tener en consideración los siguientes factores:

- ❖ Altura sobre el nivel del mar o presión ambiental
- ❖ Temperatura ambiente
- ❖ Humedad
- ❖ Temperatura del refrigerante
- ❖ Tipo de compresor
- ❖ Fuente de energía

Estos factores afectan principalmente a lo siguiente:

- ❖ Máxima presión de trabajo
- ❖ Capacidad
- ❖ Consumo de energía
- ❖ Requisitos de refrigeración

El factor más importante son las variaciones de presión de entrada con la altura. Un compresor con una relación de presiones de 8,0 a nivel del mar, tendrá una relación de presiones de 11,1 a una altitud de 3.000 metros (siempre que no cambie la presión de trabajo de la aplicación). Esto afecta a la eficiencia y por tanto a la potencia requerida. La magnitud del cambio depende del tipo y diseño de compresor.

La temperatura ambiente, humedad y temperatura del refrigerante interactúan y afectan al rendimiento, en diferente medida, de los compresores de una etapa, multietapa, dinámicos o de desplazamiento.

El principal criterio para la instalación es, ante todo, constituir una planta de compresores independiente, es preferible la centralización con independencia del tipo de industria. Entre otras razones, se consigue una mejor economía de funcionamiento, un sistema de aire

comprimido mejor diseñado, mayor sencillez de servicio, protección contra acceso no autorizado, buen control del ruido y mayores posibilidades de ventilación controlada.

En segundo lugar, para la instalación de los compresores se podría usar una zona separada del edificio. Con este tipo de instalación deben tenerse en cuenta ciertos riesgos e inconvenientes, por ejemplo: molestias a causa del ruido, requisitos de ventilación del compresor, riesgos físicos y/o de sobrecalentamiento, drenaje de los condensados, entornos peligrosos, por ejemplo, polvo o sustancias inflamables, sustancias agresivas en el aire, necesidades de espacio para ampliaciones futuras y acceso para realizar el mantenimiento.

Sin embargo, la instalación en un taller o un almacén puede facilitar el montaje del sistema de recuperación de energía. Si no hay sitio para instalar el compresor en el interior del edificio, también se puede colocar en el exterior bajo techo. En este caso, deben tenerse en cuenta ciertos aspectos: las descargas de condensado, protección contra lluvia y nieve en la entrada de aire, necesidad de una fundación sólida y plana (asfalto o losas de hormigón), riesgo de polvo, sustancias inflamables o agresivas y protección contra acceso no autorizado.

### 3.3.2 Ventilación de la sala de compresores

El calor de la sala de compresores procede de todas las unidades. Este calor se evacúa ventilando la sala. La cantidad de aire de ventilación se determina por el tamaño del compresor y por el método de refrigeración, que puede ser por aire o por agua. El aire de ventilación para compresores refrigerados por aire contiene cerca del 100% de la energía consumida por el motor eléctrico en forma de calor. En el caso de compresores refrigerados por agua, contiene un 10% de la energía consumida por el motor eléctrico. El calor se debe eliminar para mantener la temperatura de la sala de compresores en un nivel aceptable. El fabricante del compresor debe facilitar información detallada sobre el flujo de ventilación necesario, aunque esta cifra también se puede calcular de la forma siguiente:

$$Qv = \frac{Pv}{0,92 * \Delta T} \quad (2)$$

$Qv$  = cantidad de aire de ventilación (m<sup>3</sup>/s)

$Pv$  = flujo térmico (Kw)

$\Delta T$  = aumento de temperatura permitido (°C)

La mejor forma de abordar el problema de acumulación de calor es recuperar la energía y utilizarla en la empresa. El aire de ventilación se debe tomar del exterior, preferiblemente sin

usar una canalización larga. Además, la aspiración se debe situar lo más baja posible, pero sin correr el riesgo de que quede cubierta por la nieve durante el invierno.

También se deberá tener en cuenta la posibilidad de entrada de polvo y sustancias explosivas o corrosivas en la sala de compresores. Los ventiladores se deben colocar en la parte alta de una de las paredes de la sala de compresores, con la entrada de aire situada en la pared opuesta. La velocidad del aire en la entrada de ventilación no deberá ser superior a 4 m/s.

En este caso, los ventiladores controlados por termostato son los más apropiados. Estos ventiladores deben estar dimensionados para manejar la caída de presión en la conducción, en la rejilla de la pared exterior, en las lamas, etc. La cantidad de aire ventilación debe ser suficiente para limitar el aumento de temperatura en la sala a 7–10°C, dependiendo de las temperaturas en la zona de la instalación. Se deberá considerar la posibilidad de usar compresores refrigerados por agua si existen problemas para conseguir una ventilación suficiente de la sala.

“Siendo la temperatura interna del taller de mecánica automotriz la del medio ambiente y en otros casos ligeramente superiores (34 a 38 °C), no es necesario, ni obligatorio instalar ventiladores de ventilación forzada para refrescar el compresor o disminuir el calor del entorno donde se desenvuelve. Nuestro equipo estará conformado por una sola unidad de mediano tamaño y capacidad de operación que no necesitará ventilación adicional”. (Campaña, 2018)

### **3.4 Distribución del aire comprimido**

Una red de distribución de aire comprimido inapropiada dará lugar a una alta facturación de energía eléctrica, una baja productividad del taller y un bajo rendimiento de las herramientas y equipos neumáticos. Un sistema de distribución debe cumplir tres requisitos: una reducida caída de presión entre el compresor y los consumidores, un mínimo de fugas de las tuberías de distribución y un vaciado eficaz de los condensados si no se ha instalado un secador de aire comprimido.

Esto es aplicable en especial a las tuberías primarias y al dispendio de aire comprimido previsto para las necesidades actuales y futuras. El costo de instalar tuberías y acoplamientos de tamaño superior al solicitado inicialmente es bajo, comparado con el costo de modificar el sistema de distribución posteriormente. El recorrido del sistema es muy importante para la

eficiencia, fiabilidad y costo de producción de aire comprimido. A veces, una gran caída de presión en las tuberías se compensa aumentando la presión de trabajo del compresor, por ejemplo, de 6 a 7 1/2 bares, lo cual produce un sobrepeso del aire comprimido. Además, cuando desciende el consumo de aire, también disminuye la caída de presión, lo que produce que la presión en el punto de consumo aumente por encima del nivel permitido.

Los sistemas de distribución fijas de aire comprimido deberían estar dimensionados de tal manera que la caída de presión en las tuberías no exceda de 0,1 bar entre el compresor y el consumidor más lejano. A esto debe agregarse la caída de presión en las mangueras flexibles de conexión, los acoplamientos de manguera y otros conectores. Es especialmente importante dimensionar adecuadamente estos elementos, ya que la mayor caída de presión suele producirse en estas conexiones. La mayor longitud permitida de la red de tuberías para una caída de presión específica se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$l = \frac{\Delta p * d^5 * p}{450 * qc^{1.85}} \quad (3)$$

l = longitud de tubería total (m)

p = presión absoluta de entrada (bar(a))

$\Delta p$  = caída de presión permitida en la red (bar)

qc = aire libre suministrado, FAD (l/s)

d = diámetro interno de la tubería (mm)

La mejor solución es diseñar un sistema de tuberías en forma de anillo cerrado alrededor de la zona donde se vaya a consumir el aire. Después se toman ramales desde la tubería principal a los diversos puntos de consumo. Así se obtiene un suministro uniforme de aire comprimido aunque la utilización sea muy intermitente, ya que el aire se dirige al punto de consumo desde dos direcciones.

Este sistema se debería usar en todas las instalaciones, excepto si algunos puntos de alto consumo de aire se encuentran a gran distancia de la planta de compresores. En este caso, se lleva una tubería principal separada a estos puntos.

### 3.5 Emplazamiento y diseño

La planta de aire comprimido se debe situar de forma que facilite el trazado del sistema de distribución en instalaciones grandes con tuberías largas. Para facilitar los trabajos de

mantenimiento también es conveniente que esté ubicada cerca de los equipos auxiliares, como bombas y ventiladores; incluso podría ser ventajoso situarla cerca de la sala de calderas.

La sala deberá tener un equipo de elevación dimensionado para manejar los componentes más pesados de la instalación, (normalmente, el motor eléctrico y el compresor propiamente dicho) y/o tener acceso a una carretilla elevadora. También deberá tener suficiente espacio de suelo para instalar un compresor extra si se deseara ampliar la instalación en el futuro. Además, la altura libre debe ser suficiente para elevar un motor eléctrico o similar en caso necesario. La planta de aire comprimido deberá tener un desagüe en el suelo para verter los condensados del compresor, refrigerador posterior, depósito de aire, secadores, etc. El desagüe deberá cumplir las normas sanitarias municipales.

“Nuestro equipo debido a la repartición del espacio físico del taller mecánico automotriz será instalado aproximadamente en la mitad geográfica de la red para obtener una distribución acertada, técnica y económica de las instalaciones neumáticas”. (Campaña, 2018).

### **3.5.1 Fundición o base de concreto**

Para instalar la planta de compresores, normalmente sólo se necesita un piso plano con suficiente resistencia. En la mayoría de los casos, la amortiguación de las vibraciones está integrada en el compresor. En instalaciones nuevas, se suele usar una bancada para cada compresor a fin de facilitar la limpieza del suelo.

Los compresores de pistón y centrífugos grandes suelen precisar una fundición de losas de hormigón anclada al lecho de roca o a una base de suelo sólida. En las plantas completas recientes, los efectos de la vibración producida externamente se han reducido al mínimo. En sistemas con compresores centrífugos podría ser obligatorio amortiguar las vibraciones de la fundición de la sala de compresores.

“Para nuestro diseño vamos a instalar nuestro equipo dentro del espacio físico del taller, el cual está libre de los inconvenientes acabados de mencionar; tampoco es necesario elaborar una plataforma de concreto u hormigón para instalar sobre ella nuestro equipo”. (Campaña, 2018).

A continuación en la figura 36 situamos el plano del terreno donde funciona el taller de servicio de mecánica automotriz “AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”. En el plano se ubican la bodega, oficina, baños, mesas de trabajo y el área sobrante que será utilizada para las actividades propias del taller:

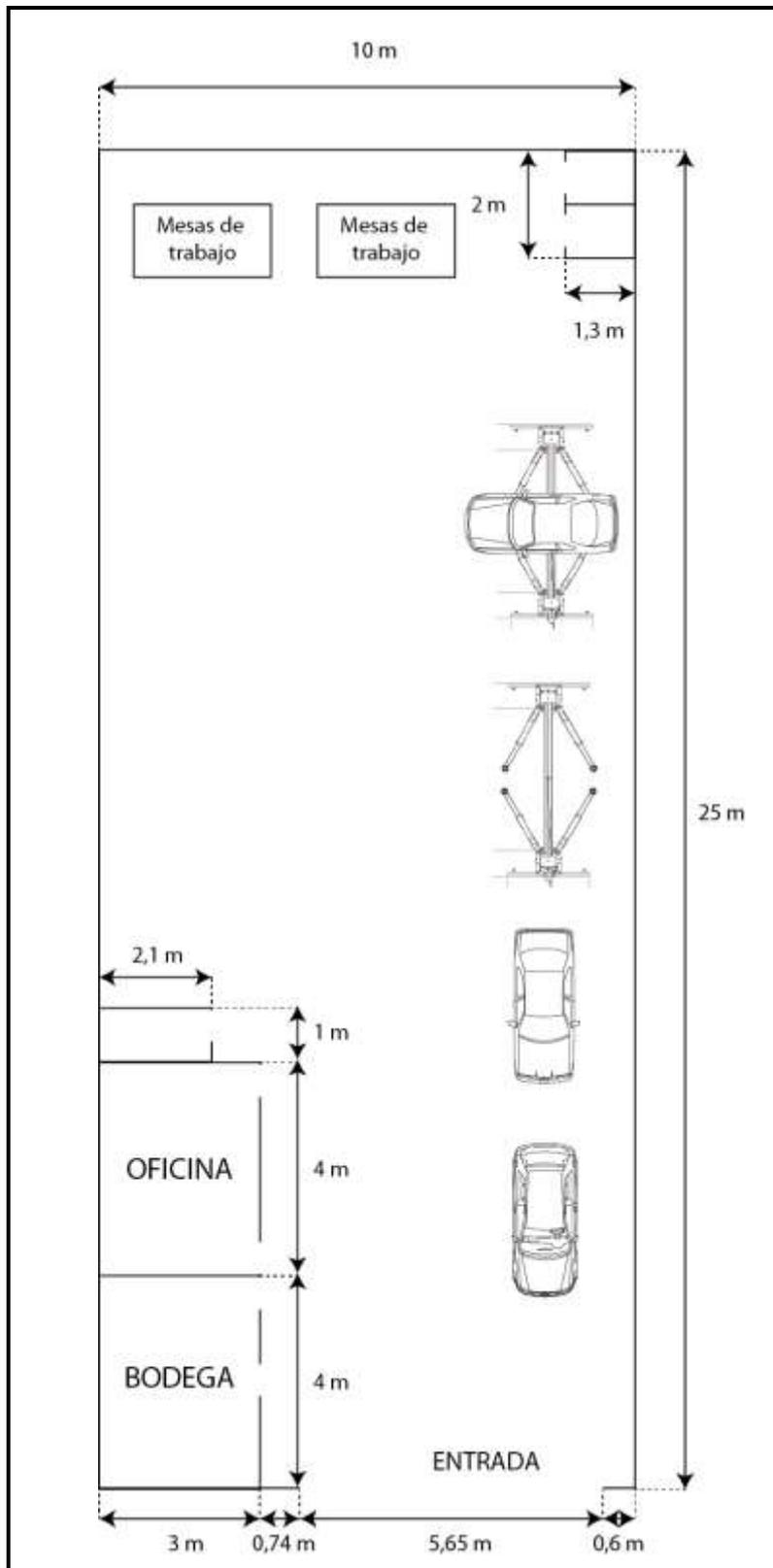


Figura 36. Plano de las instalaciones civiles del taller de servicio automotriz "AUTO COMPUTARIZADO SANTANA" (Campaña, 2018).

### 3.6 Depósito de aire

Cada instalación de compresores incluye uno o más depósitos de aire. Su tamaño está en función de la capacidad del compresor, del sistema de regulación y del patrón de consumo de aire. El depósito almacena el aire comprimido, equilibra las pulsaciones del compresor, enfría el aire y recoge la condensación. Por tanto, el depósito de aire debe estar equipado con un dispositivo de drenaje del condensado.

La siguiente fórmula sirve para dimensionar el volumen del depósito y sólo es aplicable para compresores con regulación todo/nada:

$$V = \frac{0.25 * q_c * p_1 * T_0}{f_{\max} * (P_u - P_L) * T_1} \quad (4)$$

$q_c$  = Capacidad del compresor (l/s)

$V$  = Volumen del depósito de aire (l)

$p_1$  = Presión de entrada del compresor (bar(a))

$T_1$  = Temperatura máxima de entrada del compresor (K)

$T_0$  = Temperatura del aire comprimido en el depósito (K)

$(p_u - p_l)$  = Diferencia de presión ajustada entre carga y descarga

$f_{\max}$  = Frecuencia máxima de carga (para los compresores Atlas Copco corresponde 1 ciclo cada 30 segundos)

Para compresores con control de velocidad variable (VSD), se reduce considerablemente el volumen del depósito de aire. En la fórmula anterior,  $q_c$  debe considerarse como el FAD a velocidad mínima.

Cuando existe demanda de grandes cantidades de aire comprimido durante cortos períodos de tiempo, no es económicamente viable dimensionar el compresor o la red de tuberías exclusivamente para este patrón extremo de consumo de aire.

En este caso, se deberá colocar cerca del punto de consumo un depósito de aire independiente, dimensionado de acuerdo con la capacidad de aire máxima.

En casos más extremos se puede emplear un compresor más pequeño de alta presión junto con un depósito grande para cubrir las demandas elevadas pero de corto plazo. Aquí, el compresor se dimensionará para satisfacer el consumo medio. Para este depósito se aplica la fórmula siguiente:

$$V = \frac{q * t}{p_1 - p_2} = \frac{L}{p_1 - p_2} \quad (5)$$

V = volumen del depósito de aire (l)

q = caudal aire durante la fase de vaciado (l/s)

t = duración de la fase de vaciado (s)

p1 = presión normal de trabajo en la red (bar)

p2 = presión mínima para el punto de consumo (bar)

L = requisito de aire para la fase de llenado (1/ciclo de trabajo)

La fórmula o método no tiene en consideración que el compresor pueda proporcionar aire durante la fase de vaciado. Una diligencia común es el arranque de grandes motores de barco, donde la presión de llenado o cargado del depósito es de 30 bares.

### 3.6.1 Diseño de la red de aire comprimido

Al diseñar y dimensionar una red de aire comprimido, el punto de partida es una lista de todos los puntos de consumo y un plano que señale su ubicación. Los puntos de consumo se agrupan en unidades lógicas y se alimentan de la misma tubería de distribución. A su vez, la tubería de distribución recibe el aire de las tuberías verticales de la sala de compresores. Una red de aire comprimido de gran tamaño se puede dividir en cuatro partes principales: tuberías verticales, tuberías de distribución, tuberías de servicio y accesorios de aire comprimido.

Las tuberías verticales transportan el aire comprimido desde la planta de compresores a la zona de consumo. Las tuberías de distribución dividen el aire a través de la zona de distribución. Las tuberías de servicio transportan el aire desde las tuberías de distribución a los puntos de consumo.

### 3.6.2 Dimensionado de la red de aire comprimido

Por lo general, la presión obtenida inmediatamente después del compresor no se puede utilizar en su totalidad, ya que la distribución del aire comprimido genera algunas pérdidas, principalmente por rozamiento en las tuberías. Además, en las válvulas y en los codos se producen efectos de estrangulación y cambios de dirección del flujo.

Las pérdidas, que se convierten en calor, producen una caída de presión que, para una tubería recta, se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$\Delta p = 450 * \frac{q_c^{1.85} * l}{d^5 * p} \quad (6)$$

$\Delta p$  = caída de presión (bar)

$q_c$  = caudal de aire, FAD (l/s)

$d$  = diámetro interno de la tubería (mm)

$l$  = longitud de la tubería (m)

$p$  = presión absoluta inicial bar(a)

Al calcular los distintos componentes de la red de aire comprimido, se pueden usar los valores siguientes para la caída de presión permitida:

- ❖ Caída de presión en las tuberías de servicio 0,03 bar
- ❖ Caída de presión en las tuberías de distribución 0,05 bar
- ❖ Caída presión en tuberías verticales 0,02 bar
- ❖ Caída de presión total en la instalación de tuberías fijas 0,10 bar

Hay que determinar las longitudes de tubería necesarias para las diferentes partes de la red (tuberías verticales, tuberías de distribución y tuberías de servicio). Es recomendable un plano a escala de la red prevista. La longitud de las tuberías se corrige añadiendo las longitudes equivalentes de válvulas, codos, uniones, etc.

Como alternativa a la fórmula anterior, al calcular el diámetro de la tubería se puede usar un nomograma para averiguar el diámetro de tubería más apropiado.

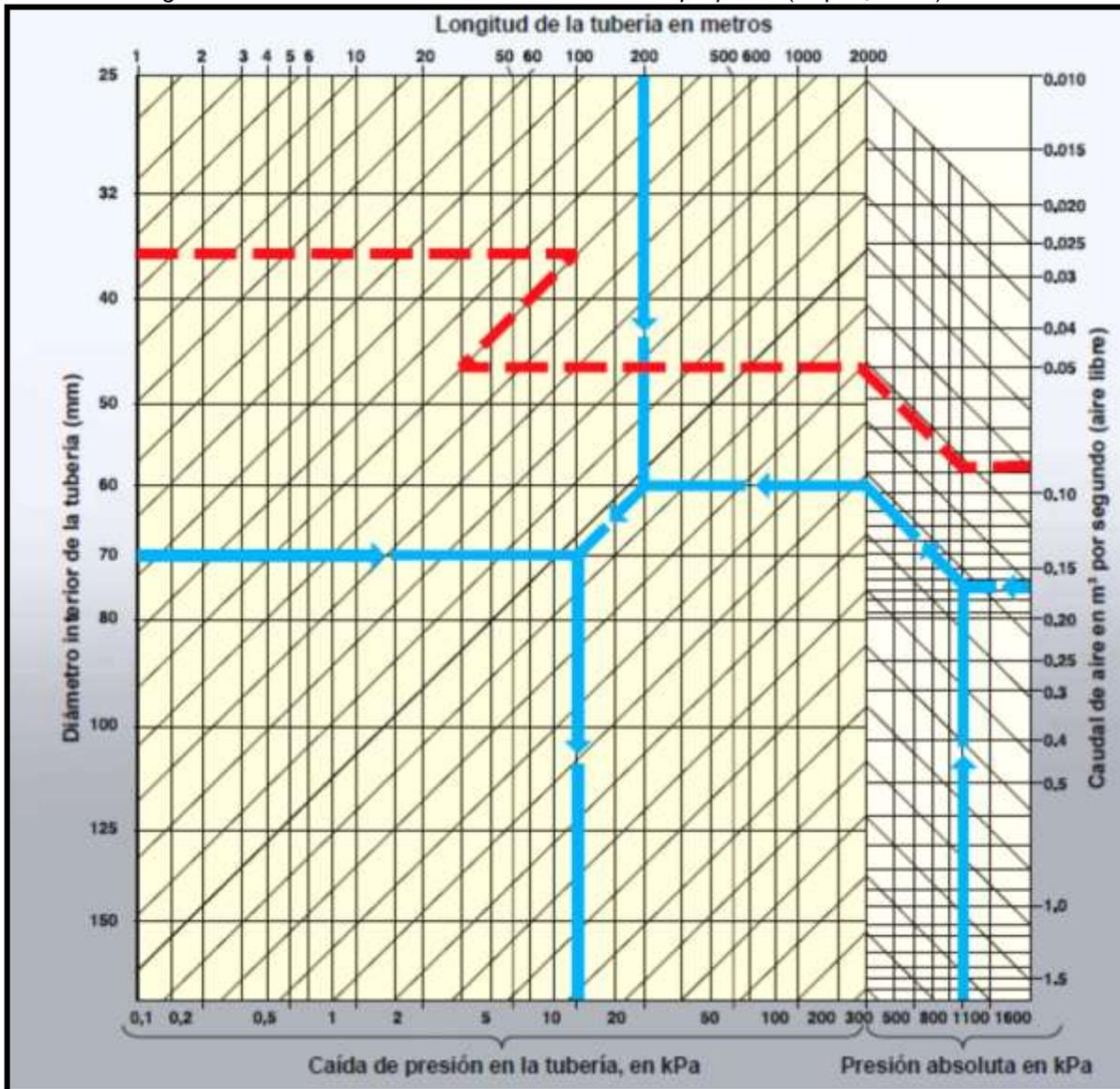
Para realizar este cálculo hay que conocer el caudal, la presión, la caída de presión permitida y la longitud de la tubería. Después se selecciona una tubería estándar del diámetro inmediatamente superior.

Las longitudes de tubería equivalentes para todas las partes de la instalación se calculan utilizando una lista de los acoplamientos y componentes de la tubería así como la resistencia al flujo expresada en longitud de tubería equivalente. Estas longitudes “extras” se añaden a la longitud de tubería inicial.

Después se recalculan las dimensiones seleccionadas de la red para asegurar que la caída de presión no sea excesiva. En las instalaciones grandes, cada sección individual (tuberías de servicio, tuberías de distribución y tuberías verticales) se deberá calcular por separado.

En la tabla 9 de la siguiente página mostramos el nomograma indicativo para la selección del diámetro y longitud de la tubería de acuerdo al caudal requerido:

Tabla 9. *Nomograma indicativo del diámetro de tubería más apropiado (Copco, 2015).*



### 3.6.3 Medición del caudal

Unos caudalímetros de aire situados estratégicamente permiten asignar cargos internos del aire comprimido consumido en la empresa. El aire comprimido es un medio de producción que debe representar un coste parcial para cada departamento de la compañía. Desde este punto de vista, todas las partes implicadas podrían beneficiarse de la reducción del consumo en los diferentes departamentos.

Los caudalímetros disponibles en el mercado ofrecen desde valores numéricos para lectura manual hasta envío de datos directamente a un ordenador o módulo de carga. Estos caudalímetros se montan generalmente cerca de las válvulas de cierre. La medición en anillo

impone unos requisitos particulares, ya que los caudalímetros deben medir en ambas direcciones.

### 3.7 Instalación eléctrica

#### 3.7.1 Selección del motor eléctrico

En los motores eléctricos, la refrigeración se ve afectada por la menor densidad del aire a gran altitud. Los motores estándar deberían ser capaces de funcionar a una altura de hasta 1.000 metros y una temperatura ambiente de 40°C sin que se viesen afectados sus datos nominales. Para grandes altitudes se puede usar la tabla 10 como guía para reducir la capacidad de un motor estándar:

Tabla 10. Carga permitida en % de la potencia nominal del motor eléctrico. (Copco, 2015)

Altura sobre el nivel del mar (m)	Temperatura ambiente (°C)					
	<30	30 – 40	45	50	55	60
1000	107	100	96	92	87	82
1500	104	97	93	89	84	79
2000	100	94	90	86	82	77
2500	96	90	86	83	78	74
3000	92	86	82	79	75	70
3500	88	82	79	75	71	67
4000	82	77	74	71	67	63

En algunos tipos de compresor, la potencia del motor eléctrico disminuye más rápidamente que la potencia al eje requerida del compresor. Por tanto, cuando un compresor estándar deba funcionar a gran altitud se deberá reducir la presión de trabajo o instalar motor sobredimensionado.

Los motores eléctricos más utilizados en los compresores son los de inducción monofásico, bifásico y trifásico con rotor de jaula de ardilla. Para capacidades pequeñas se utilizan los monofásicos y bifásicos a 120/240 V.A.C., respectivamente. Para capacidades medianas y grandes, hasta 450 – 500 Kw se emplean generalmente motores de baja tensión a 480/600/1000 V.A.C. y para potencias superiores la mejor opción son los de media tensión.

Las clases de protección de los motores están reguladas por normas. Es preferible un diseño resistente al polvo y a las salpicaduras de agua (IP55) que los motores abiertos (IP23), que precisan un desmontaje y limpieza regulares, dado que los depósitos de polvo en la máquina

acabarán produciendo sobrecalentamiento, con la consiguiente reducción de la vida útil. Como la carrocería del compresor ofrece una primera protección contra el polvo y el agua, también se puede utilizar una clase de protección inferior a IP55.

El motor, refrigerado normalmente por ventilador, se selecciona para funcionar a una temperatura ambiente máxima de 40°C y una altitud de hasta 1000 m. Algunos fabricantes ofrecen motores estándar con una temperatura ambiente máxima de 46°C. A medida que aumenta la temperatura o la altitud, se debe reducir la potencia. El motor se monta normalmente con brida y se conecta directamente al compresor. La velocidad se adapta al tipo de compresor, aunque en la práctica sólo se emplean motores de 2 y 4 polos con unas velocidades respectivas de 3.000 rpm y 1.500 rpm.

La potencia nominal del motor está determinada por el compresor y debe aproximarse lo máximo posible a las exigencias de éste.

Un motor sobredimensionado es más caro, requiere una corriente de arranque innecesariamente alta, una protección más grande, tiene un factor de potencia bajo y ofrece una eficiencia algo menor. Un motor que sea demasiado pequeño se sobrecargará pronto, con el consiguiente riesgo de avería.

Al seleccionar un motor, uno de los parámetros a considerar es el método de arranque. El motor sólo se arranca con una tercera parte de su par nominal en estrella/triángulo. Por lo tanto, puede resultar útil una comparación de las curvas de par del motor y del compresor para garantizar que éste arranque correctamente.

### **3.7.2 Métodos de arranque**

Los métodos más comunes son el arranque directo, el arranque estrella/triángulo y el arranque suave.

El arranque directo es simple y sólo requiere un contactor y protección contra sobrecarga. La desventaja que presenta es su alta corriente de arranque, que es 6–10 veces la intensidad nominal del motor, y su alto par de arranque que puede dañar, por ejemplo, los ejes y acoplamientos.

El arranque estrella/triángulo se usa para limitar la intensidad de arranque. El arrancador consta de tres contactores, protección contra sobrecarga y un temporizador. El motor arranca con la conexión en estrella y después de un tiempo ajustado (cuando la velocidad ha alcanzado

el 90% del régimen nominal) el temporizador conmuta los contactores y el motor se conecta en triángulo, que es el modo de funcionamiento.

El arranque estrella/triángulo reduce la intensidad de arranque a aproximadamente un tercio del arranque directo. Sin embargo, el par de arranque también baja a una tercera parte. El par de arranque relativamente bajo simboliza que la carga sobre el motor asimismo debe ser baja durante la fase de arranque, de modo que el motor alcance su velocidad nominal antes de conmutar a la conexión en triángulo. Si la velocidad es excesivamente baja, se formará un pico de intensidad/par tan alto como con el arranque directo al permutar a conexión en triángulo.

El arranque suave que consigue ser un método alternativo al arranque estrella/triángulo, se efectúa con un arrancador compuesto de semiconductores (transistores bipolares de puerta aislada), en lugar de contactores mecánicos. El arranque es gradual y la intensidad de arranque está limitada a cerca de tres veces la intensidad nominal. La figura 37 muestra la variación de la intensidad con respecto al tiempo de los diferentes métodos de arranque del motor eléctrico:

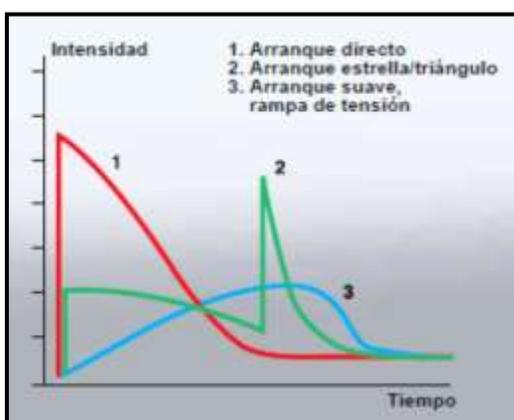


Figura 37. Corriente de arranque con diferentes métodos de arranque (Copco, 2015)

En la mayoría de los casos, los arrancadores para arranque directo y estrella/triángulo están incorporados en el compresor. En grandes plantas de compresores, los arrancadores se pueden instalar en un cuadro eléctrico separado, por razones de espacio, generación de calor y acceso para ejecutar el servicio.

Los arrancadores suaves se emplazan usualmente por separado, junto al compresor, debido a la radiación térmica, pero pueden integrarse dentro del paquete compresor, siempre que el sistema de refrigeración esté fielmente asegurado. Los compresores con motores de alta tensión tienen siempre su equipo de arranque en un panel eléctrico autónomo.

### **3.7.3 Tensión de mando**

Generalmente no se conecta al compresor ninguna tensión de mando independiente, ya que la mayoría de ellos están provistos con un transformador de control integral. El lado primario del transformador se conecta a la alimentación del compresor.

Esta disposición brinda un funcionamiento más fiable. En caso de perturbaciones en la alimentación, el compresor será detenido inmediatamente y se imposibilitará su arranque.

Esta función, con una tensión de mando proporcionada internamente, se deberá usar cuando el arrancador esté ubicado a cierta distancia del compresor.

### **3.7.4 Protección contra cortocircuito**

Para la protección contra cortocircuito del arrancador, consulte la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 60947-4-1.

La protección contra cortocircuito que se implanta en uno de los extremos de los cables, puede incluir fusibles o un disyuntor. Independientemente de la solución elegida, se obtendrá el nivel de protección adecuado si está correctamente adaptada al sistema. Ambos métodos presentan ventajas y desventajas.

Los fusibles funcionan mejor que un disyuntor para grandes corrientes de cortocircuito, pero no crean un corte totalmente aislante y tienen unos tiempos de actuación largos para pequeñas corrientes de pérdida.

Un disyuntor corta y aísla totalmente y con rapidez, incluso para pequeñas corrientes de pérdida, pero exige más trabajo que los fusibles durante la fase de planificación. El diseño de la protección contra cortocircuito debe basarse en la carga prevista, pero también en las limitaciones del arrancador.

### **3.7.5 Cables**

El método para dimensionar los cables, teniendo en cuenta la carga, se establece en la norma IEC 60364-5-52. De acuerdo con la normativa, los cables “deben estar dimensionados de modo que, en funcionamiento normal, no experimenten temperaturas excesivas ni resulten dañados térmica o mecánicamente por un cortocircuito”. El dimensionado y la selección de los cables se basan en la carga, la caída de tensión permitida, el método de colocación (en soporte, pared, etc.) y la temperatura ambiente. Se pueden usar fusibles, por ejemplo, para proteger los cables contra cortocircuito y sobrecarga.

Para los motores se emplea una protección contra cortocircuito (por ejemplo, fusibles) y una protección separada contra sobrecarga (normalmente la protección del motor incluida en el arrancador), como se muestra en la figura 38:



Figura 38. Esquema simplificado de conexión del motor eléctrico al suministro eléctrico (Copco, 2015)

La protección de sobrecarga evita daños en el motor y sus cables, disparando y desconectando el arrancador cuando la corriente de carga sobrepasa un valor preajustado. La protección de cortocircuito protege el arrancador, la protección contra sobrecarga y los cables.

Hay otro parámetro que se debe de tener en cuenta al dimensionar los cables y la protección contra cortocircuito: la “condición de disparo”, que significa que la instalación debe estar diseñada de forma que un cortocircuito producido en cualquier parte de la misma produzca un corte rápido y seguro. El cumplimiento de esta condición está determinado, entre otras cosas, por la protección contra cortocircuito así como por la longitud y la sección del cable.

### 3.7.6 Compensación de fase

El motor eléctrico no sólo consume potencia activa, que se puede convertir en trabajo mecánico, sino también potencia reactiva, que es necesaria para su magnetización. La potencia reactiva carga los cables y el transformador. La relación entre las potencias activa y reactiva está determinada por el factor de potencia,  $\cos \varphi$ . Suele estar comprendido, en función del tamaño del motor, entre 0,7 y 0,9. Ilustrada en la figura 39:

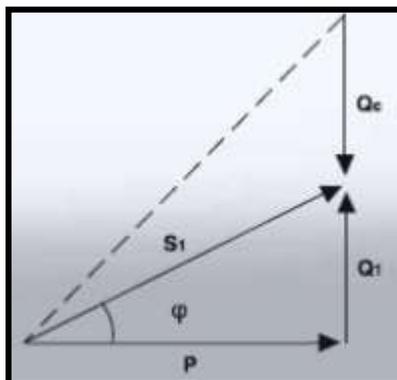


Figura 39. Suministra potencia reactiva  $Q_c$  para aumentar el factor de potencia del motor  $\cos(\varphi)$  a 1 (Copco, 2015)

El factor de potencia se puede aumentar artificialmente a 1 haciendo que la potencia reactiva sea producida por un condensador directamente en el motor. De este modo, no es necesario consumir potencia reactiva de la red principal. El motivo de la compensación de fase es que la compañía eléctrica facture la potencia reactiva consumida por encima de un nivel determinado, o que sea necesario rebajar la carga de transformadores y cables fuertemente cargados.

### 3.8 Sonido

Todas las máquinas generan sonido y vibración. El sonido es una forma de energía que se propaga en forma de ondas a través del aire, que es un medio elástico. La onda sonora ocasiona pequeñas variaciones de presión del aire ambiente que pueden ser registradas por un instrumento sensible, por ejemplo, un micrófono.

Una fuente de sonido irradia potencia acústica, lo que provoca una fluctuación de presión acústica en el aire. La causa de esto es la potencia acústica. El efecto es la presión acústica. Piense en la siguiente analogía: un calentador eléctrico irradia calor en una sala y se produce un cambio de temperatura.

Este cambio de temperatura depende lógicamente de la propia sala. Pero, para la misma potencia eléctrica absorbida, el calentador irradia la misma potencia, lo cual no depende prácticamente del entorno. La relación entre potencia acústica y presión acústica es similar. Lo que oímos es la presión acústica, producida por la potencia acústica de la fuente de sonido. La potencia acústica se expresa en vatios. El nivel de potencia acústica se expresa en decibelios (dB), es decir, una escala logarítmica (escala dB) con respecto a un valor de referencia que está normalizado:

$$LW = 10 * \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad (7)$$

LW = nivel de potencia acústica (dB)

W = potencia acústica real (W)

W0 = potencia acústica de referencia (10–12 W)

La presión acústica se expresa en Pascales (Pa). El nivel de presión acústica se expresa igualmente en decibelios (dB):

$$Lp = 10 * \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20 * \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (8)$$

$L_p$  = nivel de presión acústica (dB)

$p$  = presión acústica real (Pa)

$p_0$  = presión acústica de referencia ( $20 \times 10^{-6}$  Pa)

La presión acústica que observamos depende de la distancia a la fuente y del entorno acústico en el que se propaga la onda sonora. Por tanto, para la propagación del ruido en interiores depende del tamaño de la sala y de la absorción acústica de las superficies. En consecuencia, el ruido emitido por una máquina no se puede cuantificar por completo midiendo exclusivamente la presión acústica. La potencia acústica es más o menos independiente del entorno, mientras que la presión acústica no.

Por lo tanto, la información sobre el nivel de presión acústica debe complementarse siempre con datos adicionales: la distancia de la posición de medición a la fuente de sonido (especificado según una norma determinada) y la constante de la sala para la sala en la que se realizó la medición. De lo contrario, se asume que la sala no tiene límites, es decir, es un campo abierto. En una sala sin límites no hay paredes que reflejen las ondas sonoras y que puedan afectar a la medición.

### **3.8.1 Absorción**

Cuando las ondas chocan con una superficie, una parte de ellas se refleja y otra es absorbida por el material. Por tanto, el nivel de presión acústica en un momento dado consta siempre de dos partes: las ondas sonoras que genera la fuente y la reflexión de las superficies circundantes.

La eficacia con que una superficie puede absorber el sonido depende del material del que esté compuesta y se expresa generalmente como un factor de absorción, entre 0 y 1, siendo 0 completamente reflectante y 1 completamente absorbente.

### **3.8.2 Constante de la sala**

La influencia de una sala en la propagación de las ondas sonoras está determinada por la constante de la sala. La constante para una sala que tenga varias superficies, paredes y otras superficies interiores se puede calcular teniendo en cuenta los tamaños y las características de absorción de las diferentes superficies. La ecuación que se aplica es:

$$K = \frac{A * \alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\text{absorción total}}{\text{superficie total}} = \frac{A_1 * \alpha_1 + A_2 * \alpha_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \quad (9)$$

K = constante de la sala

$\alpha$  = factor de absorción medio de la sala

A = superficie total de la sala (m<sup>2</sup>)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> etc., son las superficies individuales de la sala con unos factores de absorción  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  etc.

### 3.8.3 Reverberación

La constante de la sala también se puede determinar utilizando el tiempo de reverberación medido. El tiempo de reverberación T se define como el tiempo que tarda la presión acústica en atenuarse 60 dB una vez silenciada la fuente sonora. El factor de absorción medio de la sala se calcula como:

$$\alpha = \frac{0.163 * V}{T} \quad (10)$$

V = volumen de la sala (m<sup>3</sup>)

T = tiempo de reverberación (s)

Los coeficientes de absorción para los diferentes materiales de la superficie dependen de la frecuencia y son, por tanto, el tiempo de reverberación y la constante de absorción de la sala.

### 3.8.4 Relación entre nivel de potencia acústica y nivel de presión acústica

En determinadas condiciones específicas, la relación entre nivel de potencia acústica y nivel de presión acústica se puede expresar de forma sencilla. Si el sonido se emite desde una fuente puntual en el interior de una sala sin superficies reflectantes, o al aire libre donde no haya paredes cerca de la fuente de sonido, éste se distribuye por igual en todas las direcciones.

Por tanto, la intensidad sonora medida será igual en cualquier punto a la misma distancia de la fuente. Estos puntos forman una superficie esférica con la fuente de sonido en el centro. Cuando la distancia a la fuente se duplica, la superficie esférica a esa distancia se cuadruplica.

De esto se puede deducir que el nivel de presión acústica se atenúa en 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente de sonido. Sin embargo, esta regla no se puede aplicar si la sala tiene paredes duras y reflectantes. En este caso, se debe tener en cuenta el sonido reflejado por las paredes.

$$Lp = Lw + 10 * \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) \quad (11)$$

$Lp$  = nivel de presión acústica (dB)

$Lw$  = nivel de potencia acústica (dB)

$Q$  = factor de dirección

$r$  = distancia a la fuente de sonido

Para el factor  $Q$ , se pueden usar valores empíricos (para otras posiciones de la fuente de sonido, se debe calcular el valor de  $Q$ ):

$Q=1$  Si la fuente de sonido está suspendida en el centro de una sala grande.

$Q=2$  Si la fuente de sonido está colocada cerca del centro de una pared dura y reflectante.

$Q=4$  Si la fuente de sonido está colocada cerca de la intersección de dos paredes.

$Q=8$  Si la fuente de sonido está colocada cerca de una esquina (intersección de tres paredes).

Si la fuente sonora está situada en una sala donde las superficies limítrofes no absorben todo el sonido, el nivel de presión acústica aumentará debido al efecto de reverberación. Este aumento es inversamente proporcional a la constante de la sala:

$$Lp = Lw + 10 * \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{k}\right)$$

Desde la fuente sonora, el nivel de presión acústica se atenúa en 6 dB cada vez que se dobla la distancia. Sin embargo, a mayores distancias de la fuente, el nivel de presión acústica está dominado por el sonido reflejado y apenas se produce atenuación al aumentar la distancia.

Las máquinas que transmiten las ondas sonoras a través de su carrocería o bastidor no se comportan como fuentes puntuales si el oyente se encuentra a una distancia del centro de la máquina que sea inferior a 2-3 veces la mayor dimensión de la máquina.

### 3.8.5 Mediciones de sonido

El oído humano percibe el sonido a diferentes frecuencias con diferente claridad. Las frecuencias bajas o muy altas se perciben con menos intensidad que las frecuencias en torno a 1000–2000 Hz. Para emular la capacidad auditiva humana se emplean diferentes filtros estandarizados que ajustan los niveles medidos a bajas y altas frecuencias.

Para medir el ruido en el trabajo y el ruido industrial se suele usar el filtro A, y el nivel sonoro se expresa en dB (A).

### 3.8.6 Interacción de varias fuentes de sonido

Cuando varias fuentes emiten sonido hacia un receptor común, la presión acústica aumenta. Sin embargo, como los niveles sonoros se calculan logarítmicamente, no se pueden sumar algebraicamente.

Cuando están activas más de dos fuentes de sonido, primero se suman dos, después se añade la siguiente y así sucesivamente. Como regla empírica, cuando se suman dos fuentes de sonido con los mismos niveles, el resultado es un aumento de 3 dB. La fórmula para sumar dos niveles sonoros (los niveles de presión acústica y los de potencia acústica) es la siguiente:

$$Lp(sum) = 10 * \log(10^{Lp(1)} + 10^{Lp(2)}) \quad (12)$$

Para restar niveles sonoros se aplica una fórmula similar. El sonido de fondo es un caso especial. Se trata como una fuente sonora separada y el valor se resta del nivel sonoro medido.

### 3.8.7 Reducción del ruido

Hay cinco formas diferentes de reducir el ruido. Aislamiento acústico, absorción acústica, aislamiento de las vibraciones, amortiguación de las vibraciones y amortiguación de la fuente de sonido.

El aislamiento acústico consiste en colocar una barrera entre la fuente de sonido y el oyente. En función del espesor y de las características de la barrera, sólo se puede aislar una parte del sonido. Un aislamiento grueso es más eficaz que uno delgado.

La absorción acústica consiste en rodear o acorralar la fuente de sonido con absorbentes ligeros y porosos fijados a una barrera o defensa. Los absorbentes gruesos son más eficaces que los delgados. Las densidades mínimas típicas son aproximadamente 30 kg/m<sup>3</sup> para espuma de poliuretano de células abiertas y cerca de 150 kg/m<sup>3</sup> para lana mineral.

Las vibraciones se aíslan para evitar que se transmitan de una parte de una estructura a otra. Un problema habitual es la transmisión de vibraciones de una máquina a la barrera aislante que la rodea o al suelo. Muelles de acero, amortiguadores neumáticos, corcho, plástico y goma son ejemplos de materiales empleados para aislar las vibraciones. La elección de los materiales y su tamaño se determina por la frecuencia de la vibración y la estabilidad necesaria de la máquina.

La amortiguación de las vibraciones consiste en equipar a una estructura con una superficie amortiguadora externa compuesta de material elástico con una elevada histéresis.

Si la superficie amortiguadora es suficientemente gruesa se evitará que la barrera, una pared por ejemplo, vibre y por tanto que emita ruido. La amortiguación de una fuente de sonido influye a menudo en su comportamiento operativo. Aunque puede dar unos resultados limitados, ofrece una solución viable en términos de coste.

### **3.8.8 Ruido dentro de las instalaciones de compresores**

El nivel sonoro de los compresores se mide en condiciones estandarizadas (en campo libre, sin paredes, o mediante una técnica de exploración de la intensidad del sonido). Cuando el compresor está instalado en una sala, el nivel sonoro se ve afectado por las propiedades de ésta. El tamaño de la sala, el material de las paredes y del techo así como la presencia de otros equipos (y su posible nivel sonoro) tienen un impacto significativo.

El lugar donde esté instalado el compresor, la conexión de las tuberías y otros componentes, etc., también afectan al nivel sonoro. El ruido procedente de las tuberías de aire comprimido es a veces más problemático que el ruido del propio compresor y su unidad de accionamiento. Puede deberse a la vibración transmitida mecánicamente a las tuberías, a menudo en combinación con las oscilaciones del aire comprimido. Por tanto, es importante aislar las vibraciones o secciones de tuberías utilizando una combinación de materiales absorbentes sellados con barreras aislantes.

## **3.9 Costo**

### **3.9.1 Costo de producción de aire comprimido**

La electricidad es la energía predominante en la producción industrial de aire comprimido. En muchas instalaciones neumáticas existen con frecuencia enormes posibilidades, pero desaprovechadas, de ahorro energético, por ejemplo, mediante recuperación de energía, disminución de la presión de uso, reducción de las fugas y optimización del suministro de aire con la elección correcta del sistema de control y regulación así como del tamaño de compresor. Al planear una nueva inversión, es conveniente pensar a largo plazo y tratar de evaluar las necesidades que pueda tener en el futuro la instalación de aire comprimido. Algunos ejemplos son las exigencias medioambientales, el ahorro energético, la mejora de la calidad y futuras inversiones para ampliar la producción.

Cada vez es más importante optimizar el funcionamiento de los compresores, especialmente en el caso de grandes industrias que dependen del aire comprimido.

En una empresa en expansión, las necesidades de producción cambian con el tiempo y las condiciones de funcionamiento de los compresores evolucionan en paralelo. Por tanto, es importante que el suministro de aire comprimido esté basado tanto en las necesidades actuales como en los planes de cara al futuro. La experiencia demuestra que un análisis profundo e imparcial de la situación operativa de la planta redundará casi siempre en un mejor control de costos.

Los gastos de energía son claramente el factor dominante del costo total de la instalación. Por tanto, es importante concentrarse en hallar soluciones que respondan, por una parte, a los requisitos de rendimiento y calidad, y por otra, a los requisitos de un uso eficiente de la energía. Con el tiempo, se comprobará que el costo añadido de adquirir compresores y otros equipos que satisfagan ambos requisitos es una buena inversión.

El consumo de energía representa en muchos casos alrededor del 80% del costo total, por lo que hay que proceder con cautela al seleccionar el sistema de regulación. La gran diferencia entre los sistemas de regulación disponibles desmerece a veces las diferencias entre los tipos de compresor. La situación ideal es cuando la capacidad del compresor se ajusta exactamente al consumo demandado, algo que suele suceder en aplicaciones de proceso. La mayoría de los tipos de compresores se suministran con su propio sistema de control y regulación, pero la incorporación de equipos de control compartidos por todos los compresores de la planta puede mejorar aún más la economía operativa. La regulación de velocidad es un método muy generalizado debido a su gran potencial de ahorro energético.

Para conseguir buenos resultados hay que analizar la situación con gran detalle y realizar la selección del equipo de regulación en función de las necesidades de la aplicación.

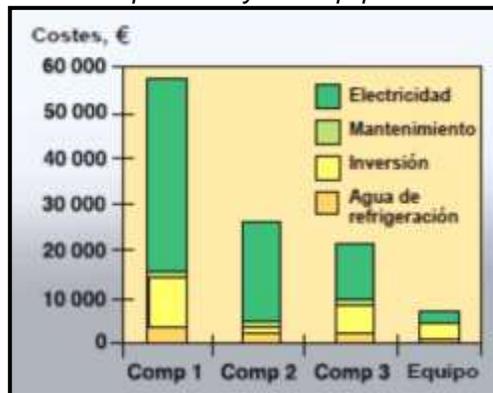
Si sólo se necesita una pequeña cantidad de aire comprimido durante la noche y los fines de semana, podría ser beneficioso disponer de un compresor pequeño ajustado a estas necesidades. Si, por cualquier razón, una aplicación concreta necesitase una presión de trabajo diferente, se analizará la situación para averiguar si debe centralizarse toda la producción de aire comprimido en una planta, o si es mejor fraccionar la red según los diferentes niveles de presión. También se podría considerar la posibilidad de dividir en secciones la red de aire comprimido con el fin de cerrar algunas de ellas durante la noche y los fines de semana y así reducir el consumo de aire, o si se desea distribuir los costos internamente a diferentes departamentos de la planta de acuerdo con los consumos de control realizados.

### 3.9.1.1 Asignación de costos

Los gastos de inversión son un costo fijo que incluye el precio de compra, los costos de infraestructura e instalación y el seguro. El costo de la inversión, como parte del costo global, está determinado en parte por el nivel de calidad deseado del aire comprimido y en parte por el período de amortización y el tipo de interés aplicable.

Los costos de energía están determinados por el tiempo de funcionamiento anual, el grado de uso en carga/descarga y el precio de la energía. Algunas inversiones adicionales, por ejemplo, el equipo para recuperación de energía, representan un beneficio directo en forma de reducción de los costos de explotación y mantenimiento. En la tabla 11 se expone un ejemplo de cómo se dividen los costos en electricidad, mantenimiento y otros consumos de acuerdo a un número determinado de equipos:

Tabla 11. *División de costos entre 3 compresores y sus equipos auxiliares.* (Copco, 2015)



Las grandes diferencias pueden deberse a la manera de valorar las máquinas, el valor capital de cada equipo, el nivel de seguridad seleccionado, que puede afectar a los costos de mantenimiento, etc.

### 3.9.2.1 Potencia requerida

Al realizar los cálculos es importante tener presente la potencia total requerida y todos los consumidores de energía que pertenecen a una instalación de compresores: por ejemplo, filtros de aspiración, ventiladores, bombas, secadores y separadores. Al establecer comparaciones entre diferentes alternativas de inversión, es muy importante utilizar valores comparables. Por lo tanto, los valores deben expresarse de acuerdo con normas y reglamentos internacionales, tales como ISO 1217 Ed. 4-2009.

### 3.9.2.2 Presión de trabajo

La presión de trabajo afecta directamente a la potencia requerida. Una presión más alta significa un mayor consumo de energía: por término medio, un 8% más de energía por cada aumento de 1 bar. Incrementar la presión de trabajo para compensar la caída de presión redundante siempre en un deterioro de los costos operativos.

A pesar de este efecto económico adverso, es habitual aumentar la presión del compresor para compensar las caídas de presión ocasionadas por un sistema de tuberías subdimensionado o filtros obstruidos. En una instalación dotada de varios filtros, especialmente con largos períodos de funcionamiento, la caída de presión puede ser considerablemente más alta y por tanto muy costosa si no se realiza un mantenimiento puntual. En muchas instalaciones no es posible reducir mucho la presión, aunque utilizando un equipo de regulación moderno suele ser realista una disminución de 0,5 bar. Ver figura 40:

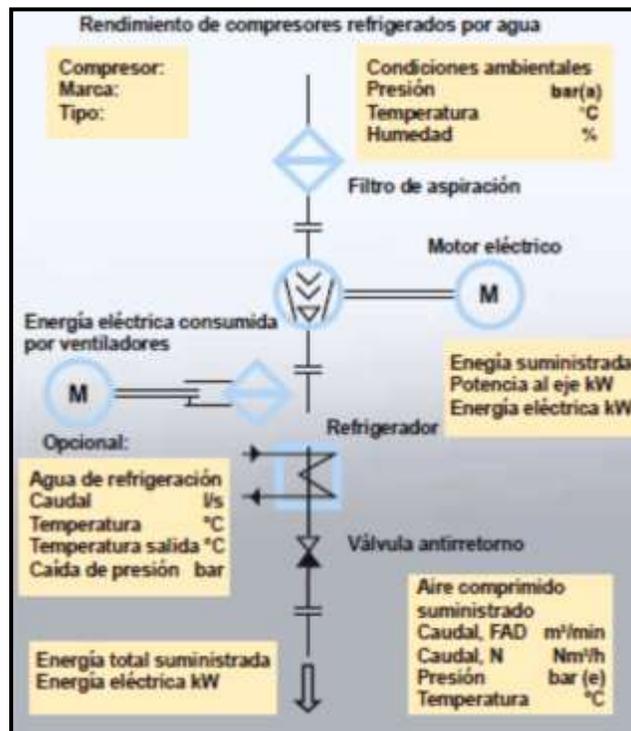


Figura 40. Requisitos de energía eléctrica de un compresor (Copco, 2015)

Aunque a primera vista representa un ahorro porcentualmente pequeño, si tenemos en cuenta que la eficiencia total de la instalación aumenta en un porcentaje equivalente, comprenderemos mejor el valor real de esta reducción.

### 3.9.2.3 Consumo de aire

Examinando el empleo de aire comprimido se pueden hallar soluciones que permitan una carga más estabilizada en el sistema neumático. De esta manera, será posible evitar picos de consumo innecesarios y reducir los costos de generación.

La mejor forma de reformar un consumo improductivo, usualmente como consecuencia de fugas, equipos desgastados, procesos que no se han configurado adecuadamente o el uso incorrecto del aire comprimido, es promover una toma de conciencia general. La división del sistema en secciones que se puedan separar con válvulas cierre, puede servir para disminuir el consumo durante la noche y los periodos improductivos (días festivos y fines de semana). En casi todas las instalaciones existen fugas que suponen una pérdida pura y que por tanto deben disminuirse al mínimo. Ver figura 41:

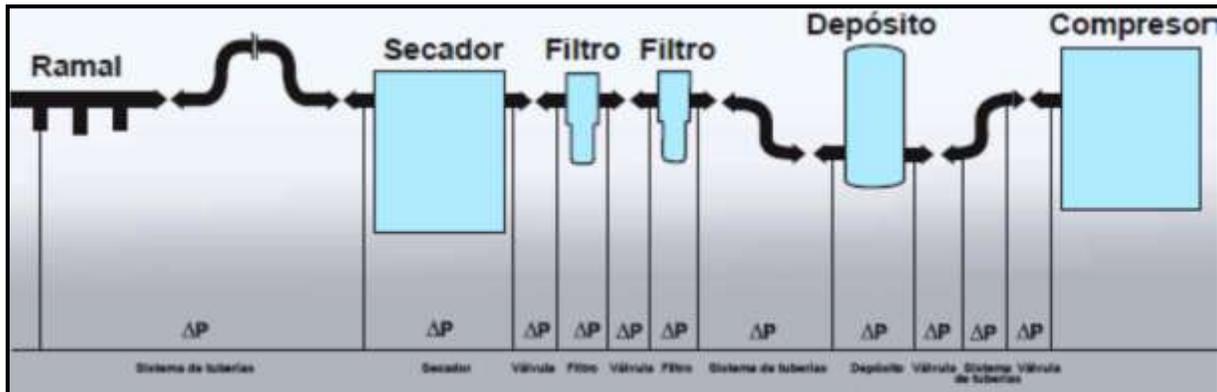


Figura 41. Afectación a la presión de trabajo de los componentes de la red debido a la caída de presión (Copco, 2015)

Con frecuencia, las fugas representan un 5, 10 y hasta un 15% del aire comprimido producido. Las fugas también son proporcionales a la presión de trabajo, por lo que una forma de reducirlas radica en reparar los equipos que las producen y disminuir la presión de trabajo, conforme su utilización. Una disminución de la presión de sólo 0,3 bar reduce las fugas en un 4%. Si las fugas en una instalación de 100 m<sup>3</sup>/min representan un 12% y la presión se reduce en 0,3 bar, se obtendría un ahorro de aproximadamente 3 kW.

### 3.9.2.4 Método de regulación

Con un sistema de control moderno se puede lograr que la planta de compresores opere de manera óptima en diferentes condiciones, optimizando a la vez la seguridad y la disponibilidad. La elección del método de regulación correcto admite economizar energía

mediante una disminución de la presión del sistema y la optimización del grado de utilización de cada máquina de la instalación. Al mismo tiempo, renovará la disponibilidad y se reducirá el riesgo de paradas no planificadas. Además, el control central consiente programar una disminución de presión automática del sistema completo durante la noche y los fines de semana.

Como el empleo o uso de aire comprimido raramente es constante, la instalación debe poseer un diseño flexible, utilizando una combinación de compresores con diferentes capacidades y motores de velocidad variable. Los compresores de tornillo contribuyen fundamentalmente a la regulación de velocidad, ya que su capacidad y su empleo de energía son habitualmente proporcionales al número de revoluciones.

### **3.9.2.5 Mantenimiento**

Como sucede con otros equipos, una instalación neumática necesita mantenimiento. Aunque los costos de mantenimiento son bajos en relación con otros gastos, se pueden reducir aún más con una buena planificación. La elección del nivel de mantenimiento está determinada por la fiabilidad y el rendimiento exigidos de la instalación de aire comprimido.

El mantenimiento representa la parte más pequeña del costo total de propiedad de la instalación. Depende de la forma en que se haya planificado la instalación neumática en general así como de la elección del compresor y del equipo auxiliar. La monitorización permanente de la instalación, posiblemente a distancia o por Internet, permite realizar sólo los trabajos estrictamente necesarios. Los fallos se detectan antes y se pueden tomar medidas inmediatas. El presupuesto total de mantenimiento está afectado por:

- ❖ Modelo de compresor
- ❖ Equipo auxiliar (secadores, filtros, equipo de control y regulación)
- ❖ Ciclo de carga/descarga
- ❖ Condiciones de la instalación
- ❖ Calidad del aire
- ❖ Planificación del mantenimiento
- ❖ Elección del nivel de seguridad
- ❖ Recuperación de energía/sistema de refrigeración
- ❖ Grado de utilización

El costo de mantenimiento anual equivale normalmente del 5 al 10% del valor de inversión de la máquina. En la figura 42 se aprecian las formas existentes de mantenimiento de acuerdo al servicio realizado:

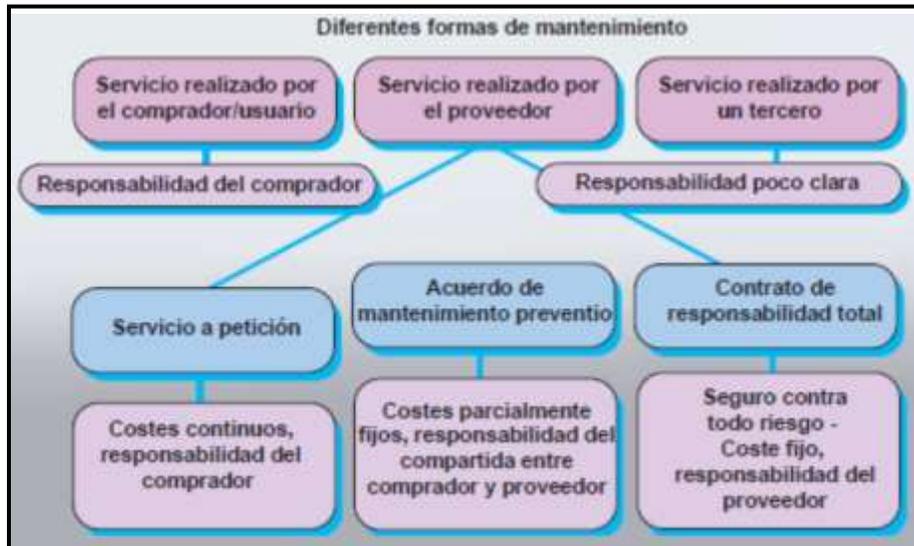


Figura 42. Formas de mantenimiento (Copco, 2015)

### 3.9.2.6 Planificación del mantenimiento

Un mantenimiento bien planificado del compresor permite anticipar los costos y prolongar la vida útil de la máquina y del equipo auxiliar. Al mismo tiempo, se reducen los costos de reparación de pequeñas averías y se acorta el tiempo de parada. La utilización de sistemas electrónicos de diagnóstico permite monitorear mejor los compresores y sustituir los componentes sólo cuando sea necesario. Además, las piezas se pueden cambiar con tiempo suficiente, evitando así posibles averías y paradas innecesarias.

Utilizando los servicios posventa del proveedor del compresor, su personal y sus piezas de repuesto originales, la máquina mantendrá un alto nivel operativo y existirá la posibilidad de introducir modificaciones basadas en los últimos avances durante su vida útil. Sólo los técnicos de servicio especialmente cualificados pueden evaluar las necesidades de mantenimiento y dar las correspondientes instrucciones a los técnicos del cliente, quien debe tener su propio personal para ocuparse de las inspecciones diarias, ya que las personas pueden oír y ver cosas que podrían pasar por alto al equipo de monitorización remota.

### **3.9.2.7 Equipo auxiliar**

Resulta fácil ampliar una instalación neumática añadiendo equipos auxiliares para mejorar la calidad del aire o monitorear el sistema. Pero el equipo auxiliar también necesita servicio y genera gastos de mantenimiento, por ejemplo: cambio de filtros, sustitución del agente de secado y formación del personal. También pueden surgir otros gastos de mantenimiento, tales como en la red de distribución y en las máquinas de producción, en función de la calidad del aire comprimido. Todos estos costos deberán tenerse en cuenta en los cálculos para tomar la decisión sobre cualquier posible inversión.

### **3.10 Cálculo de dimensión de la instalación de aire comprimido**

A continuación procedemos a realizar estimaciones técnicas, físicas y matemáticas para determinar el diseño de la instalación típica de aire comprimido del taller mecánico automotriz AUTO COMPUTARIZADO SANTANA. El objetivo es mostrar cómo se usan algunas de las fórmulas y datos de referencia mencionados en los capítulos anteriores y en los textos de consulta. El cálculo está basado en los requisitos de aire comprimido de una instalación teórica, y los resultados son los datos de diseño de los diferentes componentes que la pueden configurar.

Paralelamente a la supuesta demanda de aire comprimido de la red figuran algunos anexos que muestran cómo se pueden tratar los casos especiales: gran altitud, producción intermitente, recuperación de energía, fugas en la red neumática y cómo calcular la caída de presión en la tubería, etc.

#### **3.10.1 Datos de entrada**

Antes de comenzar el diseño se deben establecer las necesidades cuantitativas de aire comprimido y las condiciones ambientales. Además, tomar la decisión si el compresor debe ser recíprocante (pistón de una etapa), pistón de dos etapas, paletas, helicoidal, lubricado o exento de aceite, o cualquier otro tipo y si el equipo estará refrigerado por agua o por aire.

#### **3.10.2 Recomendaciones para calcular el caudal de un compresor**

Al calcular el caudal de aire de un compresor, además del consumo de todos los equipos del taller, hay que tener en cuenta algunos aspectos adicionales.

Posiblemente, una de las grandes dificultades con las que se encuentran los usuarios del aire comprimido es la de calcular el caudal del compresor. No es tarea fácil y en muchos

casos, la incertidumbre sobre el cálculo es tan alta que los factores de seguridad que se toman son muy elevados seleccionando compresores excesivamente grandes. Esto genera problemas de funcionamiento en los propios compresores y un excesivo consumo de energía.

Un cálculo preciso del caudal de aire implica un trabajo complicado que requiere de la ayuda de expertos. Como norma general, al calcular el caudal de aire de un compresor, no sólo se sumará el consumo de todos los equipos del taller, sino que habrá que tener en cuenta algunos aspectos adicionales que también influyen en su determinación.

A continuación, explicaremos los aspectos relevantes en la selección del compresor, basados en las necesidades hipotéticas del taller:

### **3.10.3. Determinar el caudal en función del proceso**

Analizando el consumo de aire comprimido se pueden encontrar soluciones que permitan una carga más equilibrada en el sistema neumático. De este modo, será posible evitar picos de consumo innecesarios y reducir los costos de explotación. La mejor forma de rectificar un consumo improductivo, generalmente como consecuencia de fugas, equipos desgastados, procesos que no se han configurado adecuadamente o el uso incorrecto del aire comprimido, es promover una toma de conciencia general. La división del sistema en secciones que se puedan separar con válvulas de cierre, puede servir para reducir el consumo durante la noche y los fines de semana. En casi todas las instalaciones existen fugas que suponen una pérdida pura y que por tanto deben reducirse al mínimo.

En esta primera fase, hay que analizar cómo es el proceso para el que se necesita el aire comprimido; en nuestro caso, la operación de un taller mecánico automotriz.

La mejor forma es analizarlo en función de los diferentes usos del aire:

- ❖ Pequeños consumidores de aire como: amoladoras, atornilladores, equipos de instrumentación, enroscadores, inflador de ruedas, pistolas de aire (limpieza), pistolas de impacto (tuercas), pulidoras, pulverizador de pintura, taladros, etc.
- ❖ Máquinas automáticas. Cilindros neumáticos para desmontajes de piezas y elevadores (gatas) neumáticos para levantamiento de vehículos.
- ❖ Procesos generales. Una aplicación específica es el proceso de chorreado o de pintura.
- ❖ En los procesos de operación del taller, hay que definir cada uno de los apartados anteriores, realizando para cada uno de ellos una tabla con sus valores calculados.

Tabla 12. *Pequeños consumidores de aire*

Definición	Caudal L/min	N° unidades
<b>Pequeños consumidores de aire</b>		
Amoladora	600	1
Atornillador	200	2
Equipos de instrumentación	300	1
Inflador de ruedas	200	2
Lijadora	300	1
Pistolas de limpieza	200	3
Pistolas de impacto	400	2
Pulidoras	400	1
Pulverizador de pintura	50	1
Taladros 12 mm	400	1

Tabla 13. *Máquinas automáticas*

Definición	Caudal L/min	N° unidades
<b>Máquinas automáticas</b>		
Cilindro neumático	220	1
Elevadores neumáticos	400	No aplica

Tabla 14. *Proceso general*

Definición	Caudal L/min	N° unidades
<b>Procesos generales</b>		
Cabina de pintura	3200	No aplica

### 3.10.3.1 Tasa de uso

La mayoría de los pequeños consumidores neumáticos no están en uso continuo. Se activan y se desactivan en función del momento de su utilización. Por este motivo, debemos analizar nuestro proceso para calcular el tiempo promedio de uso y así definir la demanda de aire requerida.

Acudimos a nuestras herramientas y equipos neumáticos (ya enunciados arriba) para la operación de nuestro taller mecánico y procedemos a estimar el tiempo de uso de cada uno de ellos para calcular la tasa de uso, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{TASA} = \text{tiempo de uso en min} / 60 \text{ min} \times 100 \% \quad (13)$$

Tabla 15. Tasa de uso

Definición	Caudal L/min	Nº unidades	Tasa de uso %
<b>Pequeños consumidores de aire</b>			
Amoladora	600	1	<b>16,66</b>
Atornillador	200	2	<b>8,33</b>
Equipos de instrumentación	300	No aplica	<b>N/A</b>
Inflador de ruedas	200	2	<b>8,33</b>
Lijadora	300	2	<b>8,33</b>
Pistolas de limpieza	200	3	<b>8,33</b>
Pistolas de impacto	400	2	<b>8,33</b>
Pulidoras	400	1	<b>8,33</b>
Pulverizador de pintura	50	1	<b>N/A</b>
Taladros 12 mm	400	1	<b>8,33</b>
<b>Máquinas automáticas</b>			
Cilindro neumático	220	1	<b>8,33</b>
Elevadores neumáticos	400	No aplica	<b>N/A</b>
<b>Procesos generales</b>			
Cabina de pintura	3200	No aplica	<b>N/A</b>

De esta manera hemos calculado cada uno de los procesos estimando el tiempo de uso, cuando exista un problema de definición de uso, donde su rutina es bastante aleatoria, se deberá acordar una TASA ELEVADA, según nuestro criterio particular, por ejemplo 85 %.

Para la mayoría de las máquinas automáticas el proceso es continuo, luego la TASA es del 100%, salvo excepciones, como en nuestro caso. La implementación de un elevador neumático es una consideración futura. En el caso de la cabina de pintura ya está calculado por el fabricante el consumo de aire comprimido por hora, por lo que se considera una TASA del 100%, para nuestro modelo por el momento no aplica.

### 3.10.3.2 Factor de simultaneidad

El factor de simultaneidad es un valor basado en la experiencia y en el proceso. Hay que definir qué equipos se están usando al mismo tiempo para poder conocer el caudal simultáneo que puede requerir nuestro proceso.

Cuando nos referimos a nuestro proceso para la debida operación de nuestro taller mecánico, debemos determinar las distintas etapas de trabajo y qué equipos necesitaríamos.

Establecimos que para la operación del taller requeriremos las herramientas y equipos descritos anteriormente, siendo necesarios seis operarios para el trabajo. El número de operarios implica que no podrán estar todas las herramientas en funcionamiento al mismo

tiempo. En esta circunstancia sólo podrán funcionar simultáneamente dos pistolas de impacto o dos atornilladores o uno de cada uno, es decir, un 34% del total de los equipos disponibles, luego el factor de simultaneidad será 0,34.

Esta misma deducción se aplicará al resto de equipos. Con la amoladora, lijadora y pulidora consideramos que solo una está en funcionamiento y las otras en receso, con lo que el factor es 0,5. Con las pistolas de aire se realiza un uso un poco indiscriminado, luego consideraremos un factor de simultaneidad alto del 0,7.

En el caso del cilindro neumático, con respecto al uso futuro del elevador neumático y la cabina de pintura, el factor de simultaneidad, será 0,5. La fórmula empleada para calcular el factor de simultaneidad involucra los siguientes parámetros:

Caudal, (A)

Número de unidades, (B)

Tasa de uso, (C)

Factor de simultaneidad, (D)

Porcentaje, (%)

En forma de ecuación queda:

$$\text{Factor de simultaneidad} = \frac{A * B * C * D}{100} \quad (14)$$

Con los datos obtenidos, podemos elaborar la tabla 16 y definir el caudal requerido por las herramientas y equipos para los procesos que requieran la operación de nuestro taller.

Tabla 16. Caudal total de equipos consumidores

Definición	Caudal L/min A	Nº unidades B	Tasa de uso % C	Factor de simultaneidad D	Caudal requerido L/min $A * B * C * D / 100$
<b>Pequeños consumidores de aire</b>					
Amoladora	600	1	<b>16,66</b>	0,05	4,99
Atornillador	200	2	<b>8,33</b>	0,34	11,33
Inflador de ruedas	200	2	<b>8,33</b>	0,05	1,666
Lijadora	300	2	<b>8,33</b>	0,10	4,98
Pistolas de limpieza	200	3	<b>8,33</b>	0,50	24,99
Pistolas de impacto	400	2	<b>8,33</b>	0,50	33,32
Pulidoras	400	1	<b>8,33</b>	0,10	3,33
Pulverizador de mantenimiento	50	1	<b>8,33</b>	0,10	0,416
Taladros 12 mm	400	1	<b>8,33</b>	0,34	11,329
<b>Máquinas automáticas</b>					
Cilindro neumático	400	1	<b>8,33</b>	0,10	3,33
<b>Total caudal equipos consumidores</b>					<b>99,681 L/min</b>

### 3.10.3.3 Factor de riesgo

Aunque con los cálculos anteriores hemos definido un proceso lógico para averiguar cuál es el caudal de aire comprimido necesario en nuestro proceso, existen otros factores que se deben considerar:

Pérdidas por fugas. Este es un valor muy controvertido, pero está demostrado que es muy difícil realizar una instalación de aire comprimido con fugacidad “0”. Nosotros recomendamos considerar un factor entre el 3% y el 5% como máximo, otros entre el 10% y el 15%. Si una vez terminada la instalación de aire comprimido y puesto en marcha el proceso de operación o fabricación, se observa que hay un alto nivel de pérdidas por fugas, es mucho más rentable tratar de corregirlas o modificar la instalación, que instalar un compresor mayor que cubra las necesidades de aire comprimido y las fugas detectadas.

Las fugas también son proporcionales a la presión de trabajo, por lo que un método de reducirlas consiste en reparar los equipos que las producen y disminuir la presión de trabajo, por ejemplo, de noche.

Tabla 17. *Relación entre fugas y consumo de energía para orificios pequeños a presión del sistema de 7 bares*

Diámetro de orificio (mm)	Caudal de salida a presión de trabajo de 7 bar (l/s)	Potencia para el compresor (Kw)
1	1.2	0.4
3	11.1	4
5	31	10.8
10	124	43

Una disminución de la presión de sólo 0,3 bar reduce las fugas en un 4%. Si las fugas en una instalación de 100 m<sup>3</sup>/min representan un 12% y la presión se reduce en 0,3 bar, se obtendría un ahorro de aproximadamente 3 Kw.

A pesar del esmerado esfuerzo en realizar un cálculo preciso y coherente, es posible cometer algún error. Buscar el punto exacto entre un caudal muy pequeño o excesivamente grande no es fácil. En cualquier caso, recomendamos tomarse un margen de seguridad entre un 5% y 10%.

Reservas para ampliaciones futuras. Hemos dimensionado nuestro sistema de aire comprimido para un consumo actual, pero seguramente se tiene en mente la ampliación a corto y mediano plazo. En este caso, se debe considerar el dimensionar el tamaño del

compresor o compresores, así como el sistema de tratamiento y trazado de la instalación neumática, suponiendo esta posible ampliación. Tener que hacerlo después puede resultar más caro y complicado.

Calcular las reservas futuras no implica comprar compresores mayores en esta primera fase. Se puede dimensionar el taller pensando en dos compresores que cubran el 100%, adquiriendo uno ahora y el segundo cuando se realice la ampliación.

Escogemos un valor de reserva aproximado o estimado, para nuestro caso nos acogemos al 20 %, cuantía que no afecta mayormente nuestro cálculo. Todas las combinaciones son posibles. Con esta nueva valoración, nuestra tabla anterior queda ampliada de la siguiente manera:

Tabla 18. Caudal final de equipos consumidores

Factores de riesgo	Factor	Caudal requerido L/min	Caudal total L/min
Pérdidas por fugas	3 %	99,681	102,671
Coefficiente de error	5 %	102,671	107,804
Reservas de ampliación	20 %	107,804	129,364
Caudal Final		<b>90 gal</b> $\approx$ 89,667 gal = 339,839 L/min	

Hemos terminado de calcular el caudal final de aire comprimido que es 339,839 L/min; 89,667 gal  $\approx$  **90 gal**, que incluye una previsión de ampliación futura.

La tabla 19 nos muestra las capacidades y características técnicas de los tanques de aire comprimido, construidos de 90 (24) a 10.000 litros (2650 gal) en la marca Kaeser, que incluye nuestro recipiente calculado.

Vamos a utilizar el valor del caudal final (90 galones) que incluye una futura ampliación en nuestro diseño. Las tuberías se deberán dimensionar considerando también el caudal futuro.

Es evidente que existen muchos otros factores y procesos para los que este pequeño estudio se quedaría corto (elevador neumático y cabina de pintura), pero consideramos que, en un alto porcentaje de nuestra aplicación, hemos determinado el caudal de aire comprimido perfectamente.

Tabla 19. Capacidades de tanques de almacenamiento de aire comprimido en litros y galones (Kaeser, 2018)

Capacidad del tanque	Sobrepresión máxima admisible	Versiones posibles:		Versión vertical				Versión horizontal				
		Litros / Galones	psi	vertical	horizontal	Altura mm.	Ø mm	Tubos de entrada/salida	Peso kg	Altura mm	Ø mm	Tubos de entrada/salida
90 / 24	160	sí	—	1160	350	2 x G ½ detrás	37	—	—	—	—	—
150 / 40	160 232	sí	sí	1190	450	2 x G ¾ detrás	55 75	1050	450	2 x G 2	55 45	
250 / 70	160 232	sí	sí	1540 1545	500	2 x G ¾ detrás	78 100	1461 1410	500	2 x G 2	84 100	
350 / 90	160 232	sí	sí	1806 1810	550	2 x G 1 detrás	80 150	1630 1640	550	2 x G 2	75 75	
500 / 130	160 232	sí	sí	1925 1918	600	2 x G 1 detrás	120 220	1780 1776	600	2 x G 2	130 220	

A continuación, en la figura 43, exponemos la imagen de un compresor de doble pistón, configurado en "V", montado sobre un recipiente vertical con capacidad de 90 galones:



Figura 43. Compresor vertical con características afines al calculado (Kaeser, 2018)

### **3.10.3.4 Condiciones ambientales para la selección**

Temperatura ambiente normal: 34°C

Temperatura ambiente máxima: 38°C

Presión ambiental: 1 bar(a)

Humedad: 60%

### **3.10.3.5 Especificaciones adicionales**

El equipo será refrigerado solo por aire del medio ambiente. La calidad del aire comprimido suministrado por el compresor lubricado con aceite se considera suficiente para los fines pertinentes, es decir, a ser empleado en mantenimiento, herramientas neumáticas y futuro uso en dispositivos de instrumentación neumáticos, elevador y cabina de pintura.

### **3.10.3.6 Selección de componentes**

Antes de comenzar la selección de los diferentes componentes, revisamos los datos: caudal de aire, presión, punto de rocío, temperatura, humedad, medio ambiente (vibraciones, emisión de gases, partículas en el aire, ruido, equipos aledaños, etc.).

### **3.10.3.7 Dimensionamiento del compresor**

El consumo total de aire corresponde al caudal final calculado, es decir, 339.839 L/min=89,667 gal, que equivalen a 90 gal. Se han tenido en cuenta los posibles cambios en los datos de consumo previsto y las posteriores necesidades de aire comprimido, así como los valores por pérdidas y error de cálculo.

La presión máxima o de trabajo requerida por todos los consumidores es de 6 bar (e). Se deberá instalar válvulas (reguladoras) reductoras de presión en los consumidores: infladoras de aire y pistolas de limpieza, a 2 bar (e).

Suponiendo que la caída de presión combinada en el secador (no aplica para nuestro caso), filtro y tuberías no exceda de 1,5 bar, resulta adecuado un compresor con una capacidad de presión de trabajo máxima no inferior a  $6 + 1,5 = 7,5$  bar (e).

### **3.10.3.8 Selección final del compresor**

La selección del compresor depende de factores como los tipos de compresor y de instalación y las condiciones ambientales:

Según el tipo de compresor:

- ❖ Compresor de pistón de doble efecto, con cilindros verticales, configuración en V, lubricado en aceite, elegido para nuestro caso.
- ❖ Presión de salida máxima del compresor, igual a 7,5 bar (e).
- ❖ FAD a 7.5 bar (e) = 7,55 l/s = 16 CFM
- ❖ La potencia instalada en el eje del motor, es igual a 3,728 Kw.
- ❖ Temperatura del punto de rocío +6 °C.
- ❖ La temperatura del aire comprimido a la salida del compresor, temperatura ambiente +24°C.
- ❖ Uso a que se va a destinar el aire; aire estéril (hospitalario), aire de proceso alimenticio o aire de servicio de mantenimiento, que es nuestra aplicación.
- ❖ Cómo, para quién y cuántos son los puntos de servicio.
- ❖ Demanda de aire (máxima, mínima, variaciones estacionales, previsión futura).

Según el tipo de instalación:

- ❖ Limitaciones de espacio; condiciones normales.
- ❖ Carga que puede soportar el suelo; no evaluado, pero se considera 20 kg/cm.
- ❖ Disponibilidad y tipo de refrigeración; enfriamiento natural por aire.
- ❖ Costos de energía, límites de disponibilidad de potencia (sin acceso a datos).
- ❖ Continuidad o intermitencia de necesidad de aire (intermitencia).

Según las condiciones ambientales:

- ❖ Temperatura extrema del medioambiente, para nuestro taller 38 °C.
- ❖ Humedad del medio ambiente, 67 % para Guayaquil.
- ❖ Grado de contaminación del aire, según el ICA: 151-200 ppm; dañino a la salud.
- ❖ Limitaciones de vibración; no han sido evaluadas,
- ❖ Nivel de ruido, estimado en 70 decibeles, según el fabricante.
- ❖ Altitud geográfica, 4 msnm para Guayaquil.

### **3.10.3.9 Accesorios complementarios del depósito de aire comprimido**

Adicionalmente todo recipiente de presión deberá tener instalado los siguientes elementos de seguridad:

- ❖ Manómetro. Es un instrumento de medición que nos sirve para visualizar la presión de operación (presión efectiva o presión manométrica).

- ❖ Mecanismo de drenaje manual o automático. En caso de drenaje manual la válvula será de paso recto y accionamiento rápido de diámetro suficiente para evacuar los residuos (condensados). Para drenaje automático su apertura se accionará dependiendo del volumen de líquidos a evacuar.
- ❖ Presóstato. Es el que activa o desactiva al motor eléctrico, que trabaja en conjunto con el compresor cuando la presión del tanque es menor que la presión establecida y de la misma manera produce la parada del compresor cuando se presenta una presión por encima del valor establecido.
- ❖ Válvula de seguridad. Es aquella que debe de ser regulada a una sobre presión máxima de 10% por encima de la presión de trabajo y deberá poder descargar el total del caudal generado por el compresor.

#### **3.10.4 Cálculo de la red de tuberías del sistema de aire comprimido**

Después de calcular la unidad compresora y determinar la localización del mismo, el siguiente paso sería ubicar los equipos y accesorios de todo el sistema, por la importancia de trazar la ruta de la tubería principal y sus ramificaciones secundarias, determinando las zonas de seguridad y otras redes existentes (electricidad, sistemas de alarmas e incendios, gas y otros combustibles). Seguidamente, se ha de levantar un plano acotado del taller, en donde debe instalarse la red de distribución de aire comprimido, situando los puntos de consumo de aire y especificando los mismos; también hay que ubicar en el plano el lugar donde se posicionará el compresor.

##### **3.10.4.1 Tipos de redes neumáticas**

- ❖ **Red abierta:** Está conformada por un solo ramal principal, del cual se derivan los ramales o también llamadas líneas secundarias que abastecen a los puntos de servicio o de consumo.

Este tipo de red en la figura 44, presenta una gran ventaja en su inversión inicial debido a su bajo costo, es fácil realizar su respectiva inclinación para la evacuación del agua condensada. Su principal desventaja es la caída de presión de los equipos que se encuentran al final de la línea de la red:

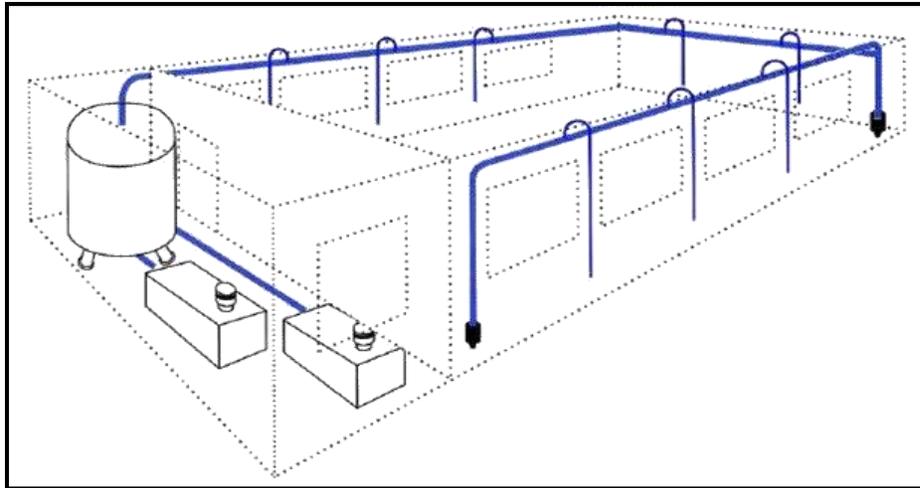


Figura 44. Red abierta de un circuito para aire comprimido (Diaz, 2018)

❖ **Red cerrada:** Este tipo de red es conocida también como red tipo anillo o argolla, la cual se debe a la forma de cómo está conectada y distribuida la tubería principal. Como se aprecia en la figura 45.

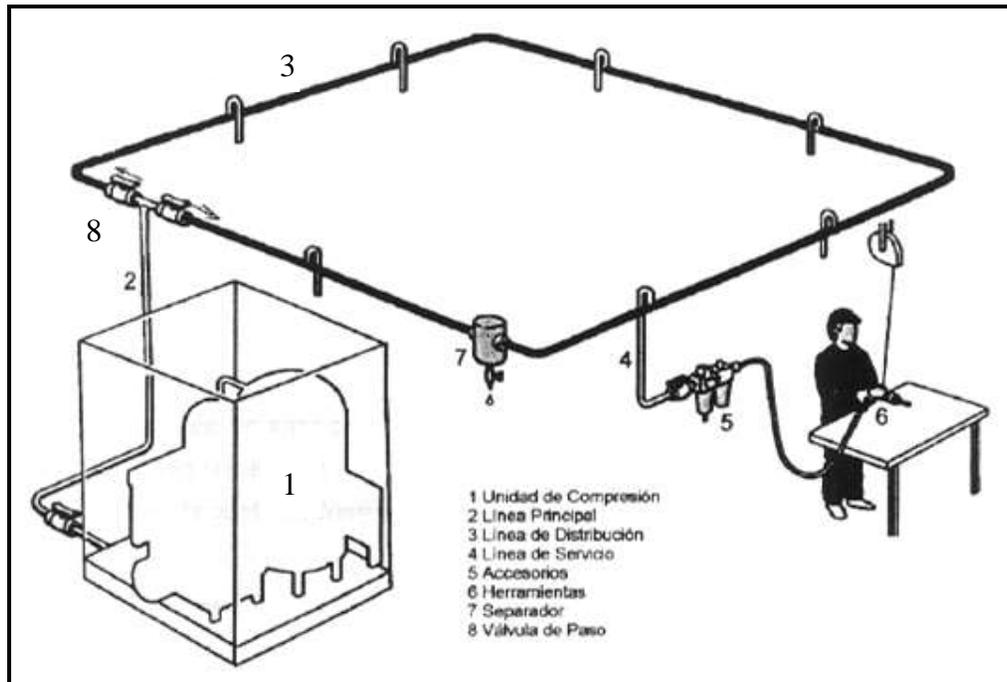


Figura 45. Red cerrada de un circuito para aire comprimido (Diaz, 2018)

Una de las desventajas que existen en esta red es su inversión inicial debido a que es mayor, en comparación con la red tipo abierta. En este tipo de red la presión se mantiene constante, por lo cual no es necesario realizar paradas en la producción al realizar su

respectivo mantenimiento, ya que se lo puede realizar aislando los ramales defectuosos con válvulas by pass (derivación).

### 3.10.4.2 Materiales de tuberías para redes de aire comprimido

A más de lo expuesto en el numeral 2.8.5.1 podemos anotar las consideraciones descritas a continuación, la tabla 20 resume las ventajas y desventajas de los diferentes materiales de que están constituidas las tuberías. En esa tabla hemos resaltado con líneas punteadas color rojo, el recuadro perteneciente al PVC que es el material que usamos en la distribución de aire comprimido de nuestra red neumática.

La red de distribución de aire comprimido es el sistema de tubos que permite transportar la energía de presión neumática hasta el punto de utilización. Sobre esta definición cabe realizar una serie de aclaraciones, pues desde el punto de vista del ambiente podemos dividir la instalación en:

- ❖ externa (instalada a la intemperie).
- ❖ interna (colocada bajo cubierta).

Tabla 20. *Materiales de las tuberías* (Kaeser, 2018)

Material	Ventajas	Desventajas
<b>Acero negro.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de materiales moderado.</li> <li>- Disponibilidad de múltiples diámetros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Largo tiempo de instalación.</li> <li>- Fugas y oxidación.</li> <li>- La rugosidad del interior promueve la formación de contaminantes provocando caídas de presión.</li> </ul>
<b>Acero galvanizado.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de materiales moderado.</li> <li>- Disponibilidad de múltiples diámetros.</li> <li>- Protección ligera contra oxidación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A menudo solo el exterior está galvanizado.</li> <li>- Largo tiempo de instalación.</li> <li>- La rugosidad del interior promueve la formación de contaminantes provocando caídas de presión.</li> <li>- Riesgo de oxidación y fugas en uniones.</li> </ul>
<b>Cobre.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay oxidación, buena calidad de aire.</li> <li>- Baja rugosidad en el interior del tubo – caída de presión mínima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere buena calidad de soldadura para evitar fugas.</li> <li>- La soldadura es susceptible a ciclos térmicos.</li> <li>- La instalación requiere de flama abierta.</li> </ul>
<b>Acero inoxidable.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay oxidación, buena calidad de aire.</li> <li>- Baja rugosidad en el interior del tubo – caída de presión mínima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Largo tiempo de instalación.</li> <li>- Alto costo del material.</li> </ul>
<b>PVC.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero.</li> <li>- Económico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca seguridad.</li> <li>- En algunos lugares no cumple determinadas normas.</li> <li>- Puede acumular carga estática.</li> <li>- Tiene tendencia al estallido en caso de falla.</li> <li>- Los adhesivos nos son compatibles con los tipos de aceite utilizados en los compresores.</li> </ul>
<b>Aluminio.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente a la corrosión.</li> <li>- Ligero.</li> <li>- Fácil de instalar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo del material.</li> </ul>

Desde el punto de vista de la posición, la tubería puede ser aérea o subterránea y desde la óptica de la importancia de distribución, primaria o secundaria.

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

El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión ajustadas para propulsar correctamente los dispositivos que usan el aire comprimido.

La elaboración de aire comprimido es onerosa. Un sistema de aire comprimido mal diseñado puede acrecentar los gastos de energía, incitar fallos en los equipos, disminuir el beneficio de la producción y acrecentar los requisitos de mantenimiento.

En general, suele considerarse cierto que los costos añadidos cometidos en el progreso o avance del sistema de canalización de aire comprimido arrojarán beneficios rentables muchas veces durante la vida del sistema.

El aire comprimido se utiliza en muchas instalaciones industriales, comerciales, talleres concesionarios automotrices, etc. y se considera una utilidad esencial para la operación de servicios y producción.

### 3.10.4.3 Recomendaciones en la instalación de la red de tuberías

Es necesario tener presente los siguientes consejos:

- ❖ Instalar la tubería con pendiente entre el 1 y 3 % de inclinación.
- ❖ Instalar purgadores al final de cada línea.
- ❖ Las bajadas deben ser desde la parte superior del tubo (cuello de cisne).
- ❖ Es conveniente que el tubo desemboque en un punto de purga y la derivación a la máquina quede a 90°. Ver figura 46:

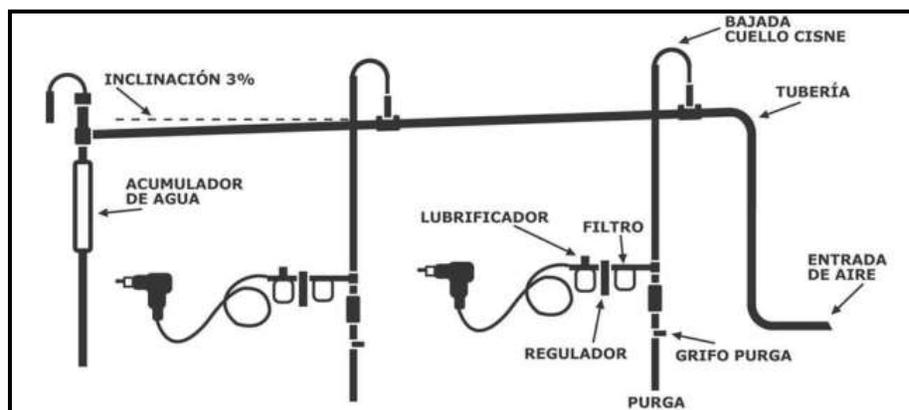


Figura 46. Forma ideal de instalar tuberías de una red aire comprimido (Colombero, 2013)

### 3.10.4.4 Cálculo de la red de aire comprimido

Se quiere calcular la longitud y el diámetro de la tubería que se desea instalar en la red de aire comprimido del taller, de tal manera que no se pase de una pérdida de presión 0,10 kg/cm<sup>2</sup>, o sea 0,0980 bar. La temperatura del aire es 30°C y el coeficiente de rugosidad para una tubería de plástico (PE, PVC) es de 0,0015 mm.

### 3.10.4.5 Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones

Para realizar el cálculo de la red de aire comprimido se determina primero la longitud integral o total (L. total), con la ecuación:

$$\mathbf{L.total = 1.6L} \quad (15)$$

Donde:

**L:** Longitud equivalente de la tubería en metros

**1,6:** Factor de seguridad

Reemplazando los valores:

$$\mathbf{L.total = 1.6 (50) = 80m}$$

Una vez calculada la longitud total de la tubería, se procede a calcular el diámetro interno de la misma por medio de la ecuación:

$$A = Q/V$$

De esta ecuación se obtiene que el diámetro sea:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \quad (16)$$

Donde:

D: Diámetro interno en metros

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s = 0,0056 m<sup>3</sup>/s = 339,839 L/min.

V: Velocidad en m/s = 35 m/s.

π: 3,1416

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,0056}{35 * \pi}} = \sqrt{\frac{0,0224}{109,956}} = \sqrt{0,0002037} = 0,014 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 14 \text{ mm} = 0,5 \text{ in}}$$

El diámetro indicado para las tuberías será aquel que posibilite las condiciones más aceptables de trabajo en el sistema de aire comprimido, el cual deberá estar dentro de los parámetros de funcionamiento normal como son:

- ❖ Flujo subsónico.
- ❖ Niveles correctos de velocidades de los flujos.
- ❖ Niveles permisibles de pérdidas de presión.

Si la tubería que se va a utilizar en una red de aire comprimido fuese de mayor diámetro, mejorará las condiciones de trabajo en la red, pero como consecuencia de esto, directamente el costo y el peso de la tubería también se incrementarán, es por esto que el dimensionamiento de la tubería requiere de un análisis tanto técnico como de factibilidad económica por parte del diseñador.

Otra forma de establecer el diámetro de la tubería es mediante un nomograma, en el cual se calcula el diámetro apropiado de la tubería dentro de los parámetros admisibles de pérdidas de presión y ajustándolo a medidas comerciales.

Cabe señalar que en la actualidad para un sistema bien dimensionado en trazado o recorrido y diámetros de tubería, se debe garantizar una pérdida máxima de presión del 2% para el punto más alejado en el sitio de la utilización del aire comprimido, respecto a la presión concebida por el compresor.

Cuando se diseña la red de aire comprimido se consideran muchos factores y parámetros involucrados como los que se describen a continuación:

- ❖ **Caída de presión.** Debido a que las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo, es conveniente utilizar tamaños de tubería tan grandes como sea factible, para asegurar una presión adecuada en todos los puntos de uso de un sistema.
- ❖ **Requerimiento de potencia en el compresor.** La potencia requerida para alimentar el compresor se incrementa a medida que la caída de presión aumenta. Por lo tanto, es adecuado utilizar tuberías cortas o de diámetro mayor para minimizar la caída de presión.
- ❖ **Costo de la tubería.** Los costos de las tuberías son elevadas dependiendo de las longitudes y diámetros, es por eso que resulta más económico trabajar con tuberías de menores longitudes.

- ❖ **Costo del compresor.** En general, un compresor diseñado para operar a una presión mayor costará más, lo que hace más adecuado el uso de tuberías de mayor diámetro que minimizan la caída de presión.
- ❖ **Costos de instalación.** Las tuberías pequeñas son más fáciles de manejar, aunque este no es en general un factor importante.
- ❖ **Espacio requerido.** Las tuberías pequeñas requieren de un menor espacio y proporcionan menor interferencia con otro equipo u operaciones.
- ❖ **Expansión futura.** Para permitir la adición de más equipos que requieran aire comprimido en el futuro, es recomendable instalar tuberías de mayores diámetros.

El espesor de la tubería para aplicaciones de aire comprimido está en función de la presión generada por el compresor, del diámetro de la tubería y del material de la misma.

Para nuestro propósito utilizaremos la cédula 40 que se utiliza en aplicaciones industriales ligeras como talleres, albercas comerciales y residenciales, campos de golf, instalaciones hidráulicas en centros comerciales, hospitales, edificios y todo tipo de aplicaciones que requieran un alto nivel de seguridad y operación. Basados en los datos de la tabla 21:

Tabla 21. *Especificaciones de características técnicas de tuberías pvc (Cresco, 2018)*

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior (D <sub>1</sub> )	CÉDULA 40			CÉDULA 80		
		Espesor Mínimo (e)	Presión de Trab. a 23°C	Peso Promedio	Espesor Mínimo (e)	Presión de Trab. a 23°C	Peso Promedio
pulg	mm	mm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/m	mm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/m
½	21.4	2.8	41.0	0.25	3.7	59.0	0.31
¾	26.8	2.9	33.0	0.34	3.9	48.0	0.42
1	33.5	3.4	31.0	0.49	4.6	43.0	0.63
1 ¼	42.3	3.6	26.0	0.67	4.9	36.0	0.87
1 ½	48.3	3.7	23.2	0.75	5.1	33.0	1.02
2	60.3	3.9	19.7	1.00	5.5	28.1	1.41

### 3.10.4.6 Esquemas de la red de distribución de aire comprimido

La red tiene una longitud de 60 m, comprende 12 uniones en T, 13 codos de 90°, 5 válvulas reguladoras de aire, 5 válvulas de bola (purga) y 3 válvulas de distribución (paso); los consumidores totalizan 4650 L/min. Ver figura 47:

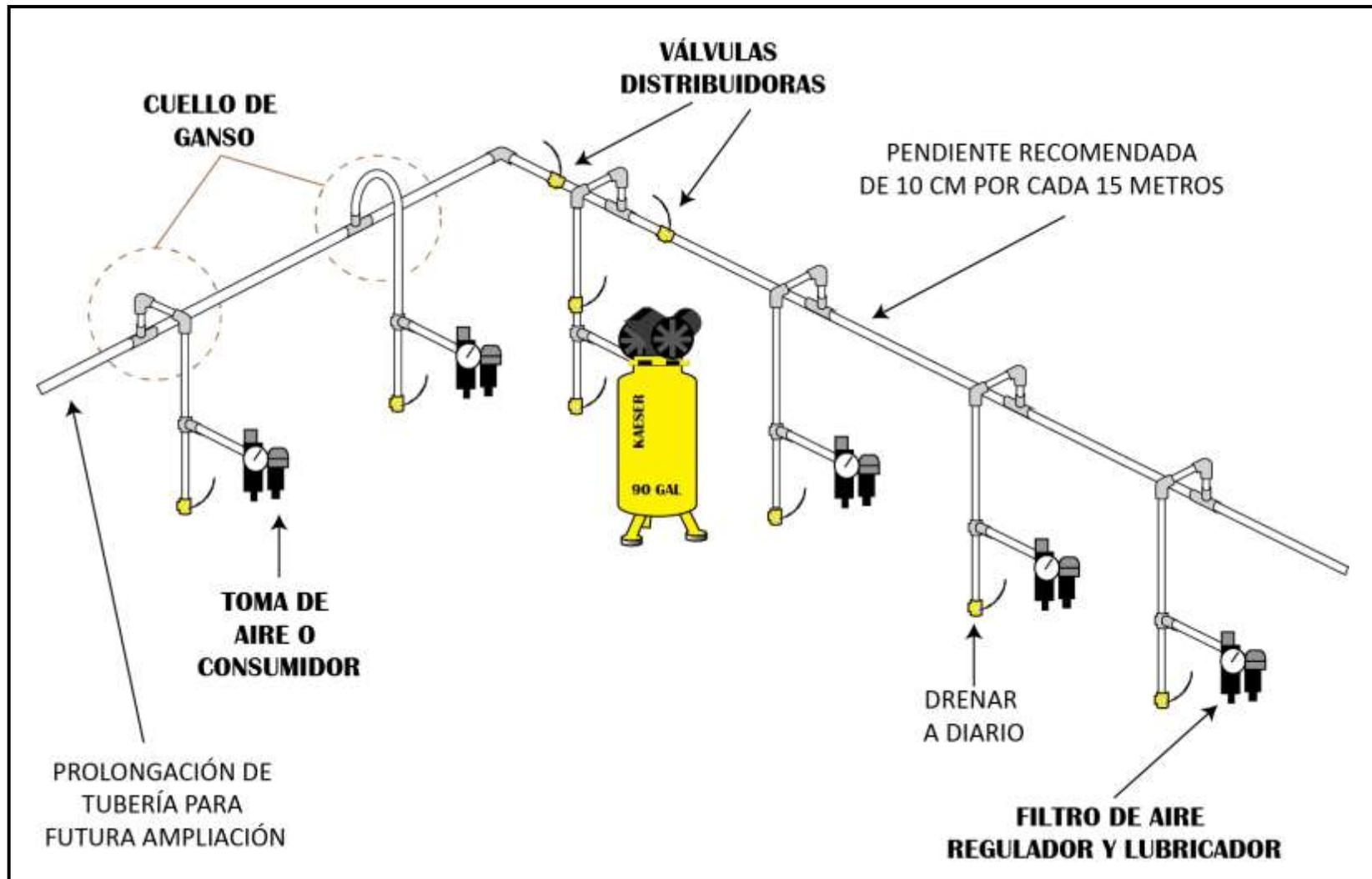


Figura 47. Diseño de la malla neumática del taller mecánico automatizado (Campaña, 2018)

La figura 48 nos muestra la localización de los dispositivos de la malla que integran el sistema neumático:

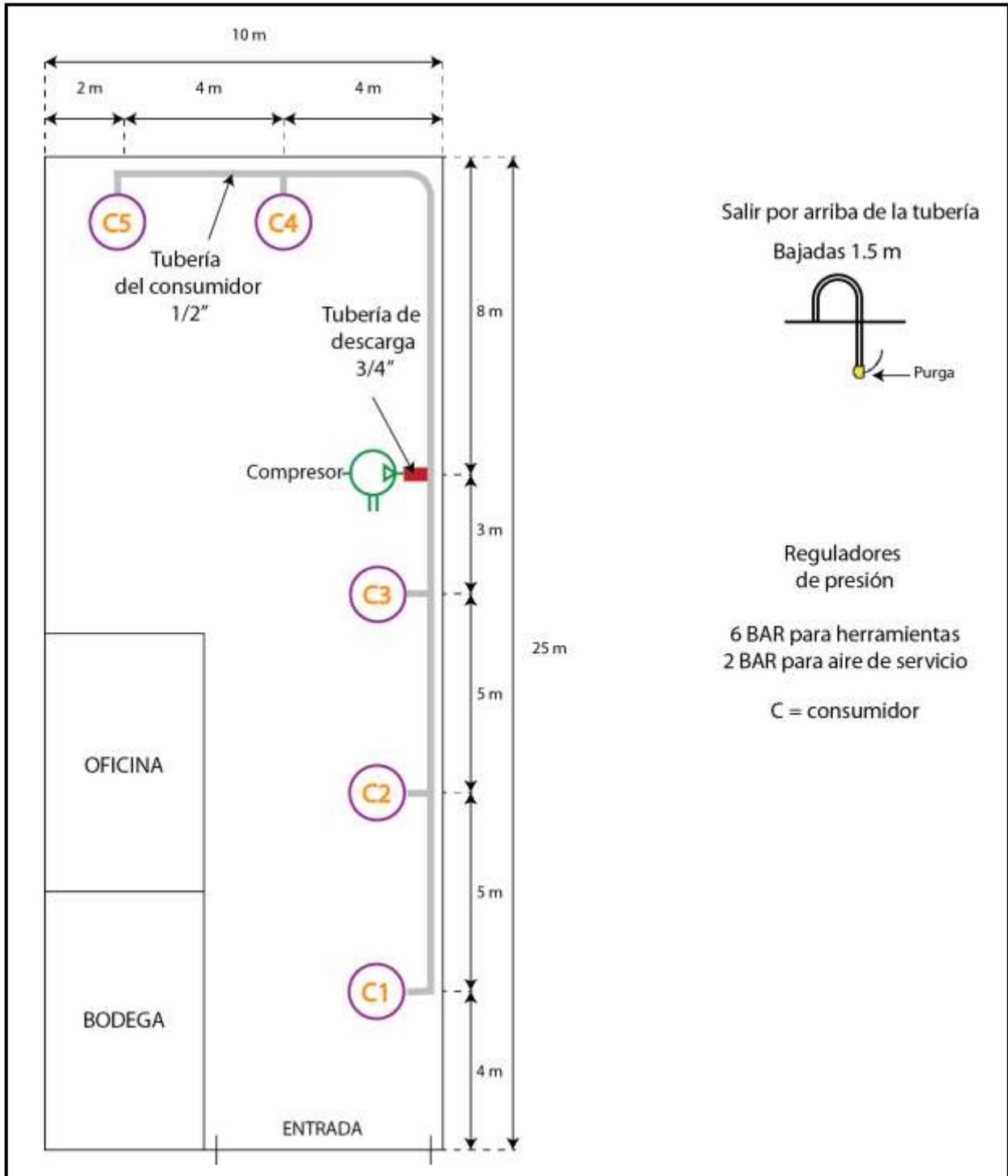


Figura 48. Ubicación de los componentes de la red neumática en el área del taller mecánico (Campaña, 2018)

### **3.10.5 Suministro e instalación eléctrica**

Antes de instalar el compresor debemos verificar que el voltaje por suministrar coincida con los datos indicados en la placa de datos del motor eléctrico del compresor. Si el modelo del compresor es bifásico o trifásico, nos aseguramos de tener el cableado adecuado para el voltaje que corresponda.

El voltaje real de operación debe estar dentro de la tolerancia de  $\pm 10\%$  con respecto al voltaje indicado en la placa del motor eléctrico del compresor. Los daños o fallas causados directa o indirectamente por voltaje insuficiente o excesivo, no son cubiertos por garantía. Se requiere que se instale un circuito eléctrico dedicado para el motor eléctrico del compresor, así como su tablero de conexión y desconexión. Los equipos de tratamiento de aire comprimido que funcionan con energía eléctrica, deben estar energizados por medio de un circuito independiente.

El plan de instalación eléctrica debe incluir el cableado (acometida) para el tablero de fuerza y control y el cableado de alimentación para el motor eléctrico del compresor.

El tablero y el motor eléctrico del compresor deben estar aterrizados correctamente. Instalaremos fusibles de protección contra cortocircuitos al inicio de la línea y un interruptor termomagnético para protección contra sobrecarga de tamaño adecuado dentro del tablero de control.

#### **3.10.5.1 Suministro eléctrico seguro**

Al realizar la instalación eléctrica es necesario seguir las siguientes instrucciones:

- ❖ Nunca use tubería o conductos eléctricos como conexión a tierra física.
- ❖ Todo el cableado y conexiones eléctricas deben llevarse a cabo por electricistas calificados, de acuerdo a normas locales vigentes. Los conductores de alimentación deben utilizarse de acuerdo a lo indicado en las hojas de instalación del equipo.
- ❖ El interruptor de desconexión del suministro eléctrico debe estar a la vista del compresor, debidamente identificado y tener una etiqueta de bloqueo que pueda identificarse fácilmente, en caso de que se sea necesario utilizarla.

Para equipos convencionales y de velocidad variable, es necesario asegurar que el transformador tenga una configuración trifásica simétrica. En un sistema trifásico simétrico, los ángulos de fase son iguales y el voltaje tiene la misma magnitud en cada fase.

Las unidades con Control de Frecuencia (FC) requieren un transformador con un sistema trifásico simétrico, cuya configuración de salida sea en estrella. Las dos configuraciones de la figura 49, indican las opciones aceptables para equipos convencionales y con Control de Frecuencia:

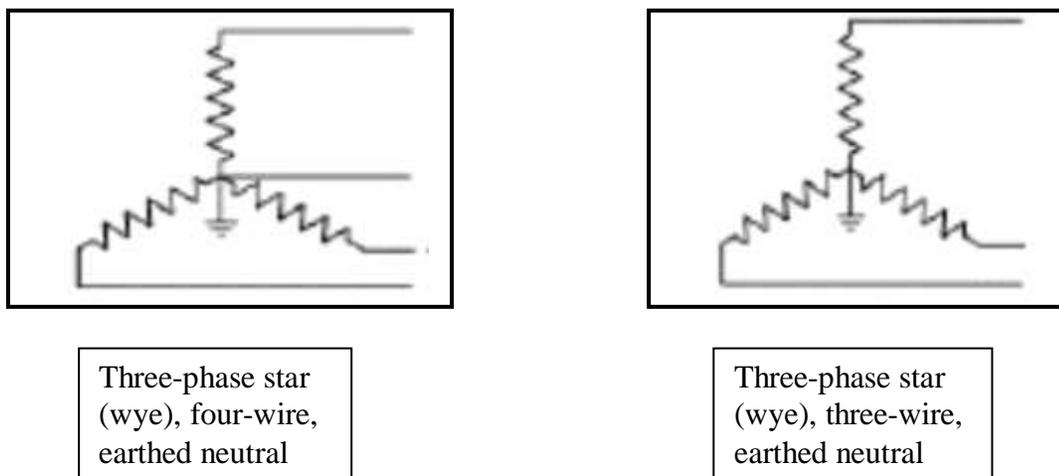


Figura 49. Configuraciones ideales de conexiones de transformadores (Copco, 2018)

### 3.10.5.2 Cálculo de la potencia instalada del motor eléctrico (KW)

La mayor parte de los dispositivos y aparatos eléctricos se marcan para indicar su potencia nominal ( $P_n$ ).

La potencia instalada es la suma de las potencias nominales de todos los dispositivos eléctricos de la instalación. Esta no es en la práctica la potencia absorbida realmente. Este es el caso de los motores eléctricos, en los que la potencia nominal se refiere a la potencia de salida en el eje principal. El consumo de potencia de entrada será evidentemente superior.

La demanda de potencia (kW) es necesaria para seleccionar la potencia nominal de un grupo electrógeno (generador eléctrico) o batería. Para una alimentación de una red de alimentación pública de baja tensión o a través de un transformador de alta/baja tensión, la cantidad significativa es la potencia aparente en kVA.

$$KW = \frac{I * E * fp * 1,73}{1000} \quad (17)$$

Donde:

I = Corriente en Amperios

KW = Potencia en Kilovatios

E = Tensión en voltios

fp= Factor de potencia

$$P = \frac{15.2 * 230 * 0,85 * 1,73}{1000}$$

$$P = 5,14 \text{ KW}$$

Conversión de KW a HP:

$$1 \text{ KW} = 1,35 \text{ HP}$$

$$6,93 \text{ HP} = 5,14 \text{ KW}$$

### 3.10.5.3 Métodos de arranque

Para el arranque del motor eléctrico bifásico existen varias alternativas que las resumimos en el siguiente cuadro sinóptico mostrado en la figura 50:

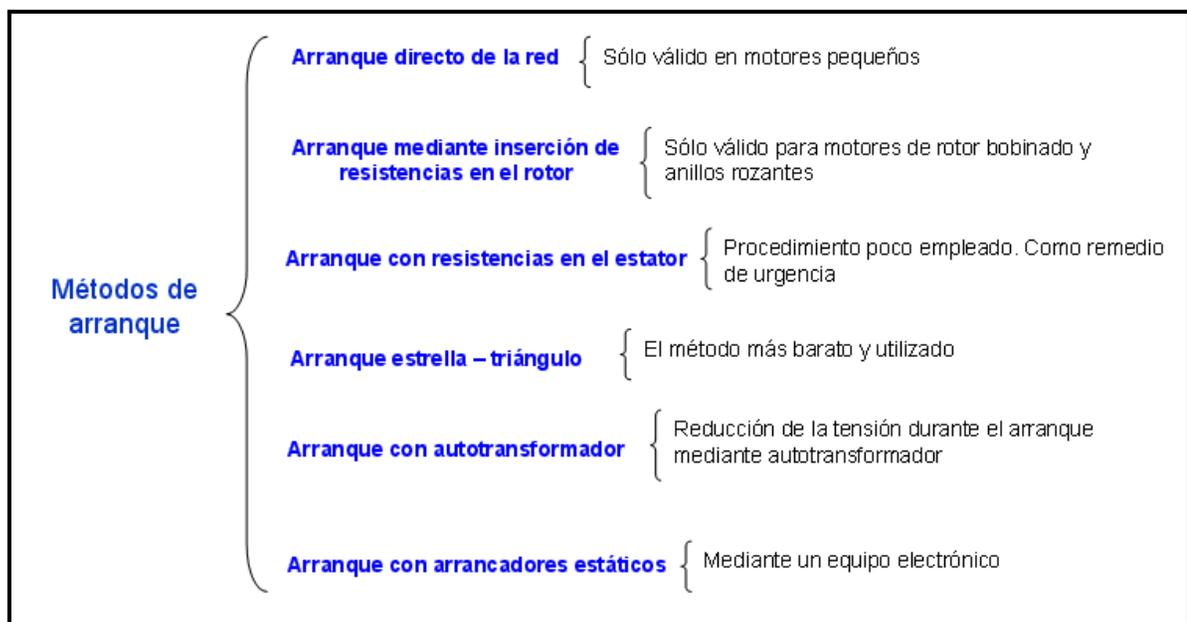


Figura 50. Métodos de arranque de un motor bifásico (Anónimo, 2018)

Con los valores calculados de **5,14 KW = 6,93 HP**, teniendo presente que estos valores están deducidos con un 28% de factores de riesgos, que la longitud total de la red es tan solo de 50 m repartidos entre dos ramales principales y que se cuenta con un número pequeño de tomas de aire comprimido, podemos utilizar un motor eléctrico de 5 HP, que corresponde al valor descontado de los factores recién mencionados y coincide con el inmediato inferior de los fabricantes.

Revisados los métodos de arranque del cuadro sinóptico de la figura 50, escogemos el “método de arranque directo de la red”, por ser un motor de baja potencia y por costos.

Nuestros esquemas eléctricos de fuerza y control están basados en los circuitos de arranque directo de un motor eléctrico trifásico de baja potencia, con la excepción de usar solo dos fases en el circuito de potencia (fuerza) y reemplazar en el circuito de control el presóstato por los interruptores de marcha y paro.

El circuito de fuerza quedará como lo muestra a continuación la figura 51, con los cambios respectivos:

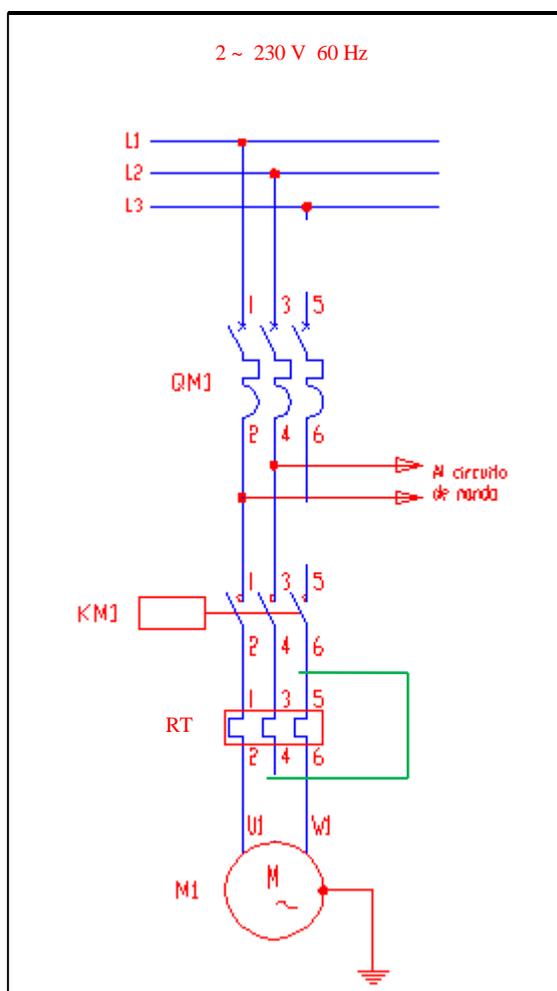


Figura 51. Esquema de fuerza para el motor de 5 HP (Campaña, 2018)

### Leyenda:

- L1: Fase 1
- L2: Fase 2
- L3: Fase 3
- QM1: Disyuntor magnetotérmico de fuerza
- QM2: Disyuntor magnetotérmico de mando
- SB1: Pulsador parada de emergencia

P: Presóstató  
KM1: Contactor  
M1: Motor  
HL1: Lámpara motor en marcha.  
HL2: Lámpara relé térmico.  
RT: Relé térmico  
U1: Terminal del motor  
W1: Terminal del motor  
Hz: Frecuencia  
~: Corriente alterna

Dentro del **circuito de fuerza** encontramos las protecciones de las instalaciones de baja tensión contra sobrecargas y cortocircuitos; los elementos mencionados en el esquema de fuerza como QM1 (disyuntor magnetotérmico de fuerza) y RT (relé térmico), han sido seleccionados para proporcionar protecciones de cortocircuito y sobre intensidad respectivamente.

Estas protecciones para circuitos basan su funcionamiento en interrumpir la alimentación cuando se detecte una intensidad superior a la que debería circular durante el funcionamiento normal de los receptores (motores), esta sobre intensidad puede estar causada por:

- ❖ **Sobrecargas:** Ocurren si el receptor durante su funcionamiento consume una potencia superior a la nominal.
- ❖ **Cortocircuitos:** Se dan cuando dos conductores que se encuentran a distinto potencial se ponen en contacto directamente o a través de un elemento metálico con baja impedancia.

Las sobre intensidades debidas a sobrecargas son generalmente mucho menores que las que se dan en un cortocircuito.

Los disyuntores (interruptores) magnetotérmicos, también llamados interruptores automáticos, protegen a los circuitos (conductores y receptores) porque interrumpen automáticamente la alimentación si detectan una sobre intensidad. Según la causa que provoque esta sobre intensidad, la interrupción del circuito se producirá de manera diferente:

- ❖ **Sobrecargas:** Interrumpirán el circuito, por efecto térmico. Su funcionamiento depende, además de la duración de la sobrecarga.
- ❖ **Cortocircuitos:** Abrirán el circuito por efecto electromagnético. Los fusibles de igual manera realizan protecciones efectivas contra cortocircuitos.

Si se originase un cortocircuito, la intensidad que circularía sería exorbitantemente alta y podría arruinar en un instante parte de la instalación. Realmente, este efecto suele ser de origen común de incendios en las instalaciones eléctricas. Para prevenirlo o advertirlo, la interrupción del circuito debe ser inmediata y por eso no serviría el bimetálico, dado que éste tiene una respuesta lenta o torpe.

Como se puede comprobar, el tiempo de apertura del circuito es un factor muy importante para ambos tipos de defectos (sobrecargas y cortocircuitos).

Para nuestro circuito de fuerza QM1 será seleccionado en consideración del calibre del conductor del circuito de potencia (fuerza), que para nuestro caso es cable AWG # 8, que soporta 40 amperios a 60°C. Deducimos que nuestro disyuntor electromagnético será de **3 polos, 600 voltios y 40 amperios.**

El relé térmico RT, lo calculamos en base a la corriente nominal del motor que es 15,2 amperios. Podemos seleccionar uno cuyo rango de operación esté entre **12 y 18 amperios.**

En el **circuito de control** el disyuntor electromagnético QM2 se lo calcula en base al consumo de corriente de la bobina del contactor, de las luces pilotos y de la impedancia residual. Con estas consideraciones podemos determinar que para proteger los conductores y dispositivos eléctricos conectados a dos fases (L1, L2), se debe utilizar un interruptor automático de 2 amperios. Un fusible de ese mismo valor puede suplantar el protector electromagnético. Ver figura 52.

En este circuito de control hay que destacar que está energizado por dos fases L1 y L2, protegido por el disyuntor magnetotérmico de mando QM2; que cuenta con dos lámparas: una para indicar que el compresor está energizado, HL1 (verde) y otra para mostrar que el motor ha sido desconectado por sobrecarga, HL2 (roja). Ambas lámparas y la bobina del contactor KM1 trabajan con 230 voltios.

SB1, es el interruptor parada de emergencia, el cual es activado manualmente en casos de que se presente alguna anomalía técnica o haya que realizar una intervención por mantenimiento o reparación.

El presóstato está relacionado con el circuito de control, conecta y desconecta la bobina del contactor KM1, conforme los requerimientos de presión. No interviene directamente con el motor, esa función la realiza KM1 a través de sus contactos de fuerza.

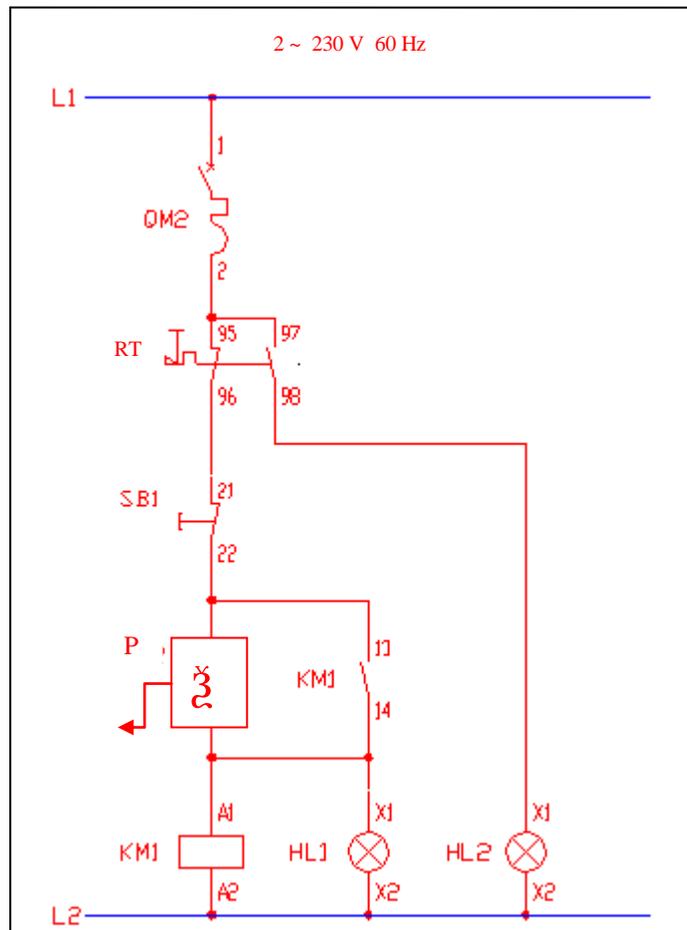


Figura 52. Esquema de control para el motor de 5 HP (Campaña, 2018)

El relé térmico, a más de sus contactos de fuerza que conectan la alimentación al motor, cuenta con dos contactos auxiliares: uno normalmente cerrado NC (95-96) en serie con el pulsador parada de emergencia SB1, con el presóstato P y con la bobina KM1; y el otro normalmente abierto NO (97-98) que se encarga de encender la lámpara HL2 ante alguna anomalía del motor y que anuncia que el motor está en problemas.

#### 3.10.5.4 Determinación de los conductores de fuerza

De acuerdo al numeral 3.7.5, observamos las recomendaciones para elegir los conductores de potencia adecuados para alimentar el circuito de fuerza del motor eléctrico del compresor.

Conociendo que el valor de nuestra corriente nominal es **15,2 A** recurrimos a la tabla 22 para escoger nuestro conductor ideal, seleccionamos el cable 8 AWG, cuyas características técnicas están expresadas en la fila resaltada con línea punteada color rojo de dicho cuadro.

Entre las principales consideraciones para esta decisión están: la elevada seguridad para con las personas y el equipo, la naturaleza de la unidad conectada, la frecuencia arranque-paro

debido a la carga y descarga del aire comprimido, la poca diferencia entre el valor del conductor escogido y el inmediato inferior y por ultimo alcanzar un elevado desempeño del dispositivo.

Además, de entre los conductores hemos elegido usar **cable** debido a que éste soporta las sobrecargas (sobre intensidades) mejor que el **alambre** y que puede resistir los esfuerzos mecánicos sin daños en su estructura física.

Tabla 22. Valor de corriente nominal para conductores 14/12/10 AWG (Viakon, 2018)

Alambres y Cables THWN/THHN 600V, 60/75/90°C								
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente en Amperes		
AWG	mm <sup>2</sup>	Mm	Mm	Mm	kg/100 m	60°C	75°C	90°C
14	2,082	0,38	0,10	2,7	3	20	20	25
12	3,307	0,38	0,10	3,2	4	25	25	30
10	5,260	0,51	0,10	4,0	6	30	35	40
8	8,367	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,3	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- ❖ Con la investigación de este trabajo, podemos concluir que se necesita un compresor que posea las características mencionadas para garantizar el suministro de aire comprimido a la red neumática, para el funcionamiento de todas las herramientas y servicios del taller automotriz.
- ❖ Con el nuevo diseño de la red neumática, en base a demandas técnicas recogidas en los puestos de trabajo y los consumidores de servicio. Se garantiza una mejora en los negocios del mantenimiento y reparación de vehículos.
- ❖ La red de aire comprimido fue implementada teniendo presente recomendaciones y normas técnicas; en la instalación y ubicación de componentes, distribución de espacios y del aire comprimido, facilidades de montaje y desmontaje de la red. Todo con la finalidad de lograr el mejor desempeño de la misma, permitiendo al mismo tiempo actividades de mantenimiento sin la necesidad de suspender el flujo de aire.
- ❖ El objetivo de las tuberías de aire comprimido es la entrega de aire a los consumidores sin pérdida de presión y sin la introducción de agentes contaminantes. La adecuada selección del material para la tubería garantiza un buen desempeño de la red neumática.
- ❖ Producir el aire comprimido requiere una inversión alta, por lo que se requiere tener presente usarlo racionalmente evitando fugas y desperdicios.

#### RECOMENDACIONES

- ❖ Capacitar al personal encargado del mantenimiento del sistema de aire comprimido. Se deberá incluir el tema de seguridad laboral y medio ambiente.
- ❖ Planificar, ejecutar y supervisar el mantenimiento del compresor y de toda la red neumática para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

- ❖ Crear un programa de mantenimiento preventivo periódico (diario, semanal, mensual, trimestral, semestral y/o anual) que conlleve un mejoramiento en el servicio, garantizando el cuidado de los equipos y herramientas que forman parte del sistema neumático.
- ❖ Implementar cursos de capacitación para el personal sobre el manejo y cuidado de las herramientas y equipo neumático.
- ❖ Controlar la presencia de fugas y mitigarlas lo más pronto posible, debido a que estas pueden empeorar conforme pasa el tiempo, aumentando el consumo de energía eléctrica y neumática, provocando el deterioro de la red y el mal funcionamiento de los consumidores.

## BIBLIOGRAFÍA

Miguel D' Addario. (2017). *Manual de Neumática: Fundamentos, Cálculos Y Aplicaciones*. CreateSpace Independent Publishing.

Domínguez E. (2016). *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección*. Grado medio Mac Millán Profesional.

Bustamante J. (2015) *Manual Práctico de Neumática: Neumática Industrial*. Create Space Independent Publishing.

Eduardo Á., José N., Tomas G. M. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Paraninfo.

Revista *Hydraulics and Pneumatics* February (2014)

(10 de julio de 2018). Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n>

Aguilera, D. (agosto de 2018). *Amasuin*. Obtenido de <https://www.amasuin.com/productos/neumatica/enrollador-manguera/>:

[https://www.amasuin.com/s/cc\\_images/teaserbox\\_39619208.jpg?t=1418839484](https://www.amasuin.com/s/cc_images/teaserbox_39619208.jpg?t=1418839484)

air-man. (agosto de 2018). <http://www.air-man.com.ar/>. Obtenido de <http://www.air-man.com.ar/img/productos/solucion-1.png>

Alvaro. (julio de 2018). *sites.google.com*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tecnologiatema4alvarocm/home/9-estudio-funcional-de-las-vavulas-distribuidoras>:

[http://eepiastecnologia4a11.files.wordpress.com/2012/06/valvula\\_3\\_2\\_dibujo.jpg](http://eepiastecnologia4a11.files.wordpress.com/2012/06/valvula_3_2_dibujo.jpg)

Amidata. (agosto de 2018). Obtenido de [es.rs-online.com/web/p/manguera-de-aire-comprimido/1216283/](https://es.rs-online.com/web/p/manguera-de-aire-comprimido/1216283/): [https://media.rs-online.com/t\\_large/F1216283-01.jpg](https://media.rs-online.com/t_large/F1216283-01.jpg)

Angel. (mayo de 2016). *slideshare*. Obtenido de <https://image.slidesharecdn.com/compresorestornillos-160508195930/95/compresores-de-proceso-a-tornillos-3-638.jpg?cb=1462737596>

Anonimo. (2018). *tuveras.com*. Obtenido de <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono7.htm>

Antonio, C. S. (2016). *Neumatica e hidraulica*. España: Alfaomega.

Asturias, P. d. (junio de 2013). *electronicasi*. Obtenido de <http://www.electronicasi.com/wp-content/uploads/2013/06/M%C3%A1quinas-y-equipos-frigor%C3%ADficos-Presostatos.pdf>

*Automatización industrial.* (agosto de 2018). Obtenido de <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/09/simbolos-neumaticos.html>

Campaña. (2018). Plano civil del taller. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Cardenas, T. D. (20 de julio de 2018). *Calameo*. Obtenido de <https://es.calameo.com/books/00448443006eba2db3e64>

Cecilia, M. G. (septiembre de 2016). *slideshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/cecymedinagcia/diagrama-de-equilibrio-de-fases>

Colombero, E. (2013). <https://tecnicayateismo.wordpress.com/>. Obtenido de <https://tecnicayateismo.files.wordpress.com/2013/06/fg.png>

Consultora, E. (agosto de 2011). *estrucplan*. Obtenido de [estrucplan.com.ar](http://www.estrucplan.com.ar): <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/ShowImg.asp?IdEntrega=2920&ImgType=image/jpeg&ImgUrl=../Boletines/0806/asp.jpg>

*Control neumático.* (agosto de 2018). Obtenido de <https://sites.google.com/site/642controlneumatico/valvulas-distribuidoras>: <https://sites.google.com/site/642controlneumatico/valvulas-distribuidoras>

Copco, A. (2015). *Manual del aire comprimido*. Atlas Copco Airpower NV.

Copco, A. (2018).

Cresco. (2018). <http://www.tuvimsa.com.mx/>.

Diaz, E. (2018). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/gatika70/neumatica-6979761>

Directindustry. (agosto de 2018). <http://www.directindustry.es/>.

Ecorsa. (junio de 2018). <http://www.ecorsasac.com/>. Obtenido de <http://www.ecorsasac.com/images/productos/13mulc/080.gif>

Festo . (agosto de 2018). [www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com). Obtenido de [https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/dsi\\_es\\_identificaci\\_n\\_de\\_referencia\\_iso\\_1219\\_en\\_81346.pdf](https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/dsi_es_identificaci_n_de_referencia_iso_1219_en_81346.pdf)

Festo. (agosto de 2018). Obtenido de [https://www.festo.com/cat/en-us\\_us/data/TRB/D11695AE40274C25A5A502287DB5A7AD.jpg](https://www.festo.com/cat/en-us_us/data/TRB/D11695AE40274C25A5A502287DB5A7AD.jpg)

Festo. (agosto de 2018). [festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com). Obtenido de <https://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/equipos-de-practicas/neumatica/componentes/acumulador-de-aire-comprimido-0,1-1.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC41NjQuNzUzOQ>

- Gaona, K. (mayo de 2015). *COMPRESORES NEUMÁTICOS*. Obtenido de <http://karlagaona.blogspot.com>: <http://karlagaona.blogspot.com/2015/05/blog-post.html>
- Garcia, M. (mayo de 2015). <http://bloginformee.blogspot.com/>. Obtenido de <http://bloginformee.blogspot.com/2015/05/compresores-neumaticos.html>
- Google. (julio de 2018). *sites.google.com*. Obtenido de Teoría básica NEUMÁTICA: [https://56a7a608-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/tecnomarmolejo/que-aprendemos/--4o-e-s-o/--neumatica-e-hidraulica/--teoria-basica-neumatica/v%C3%A1lvula%20AND.jpg?attachauth=ANoY7cpj5GPgoBpMs7chB761ZVVyy9AkkpSPb2FfMWdAiIt6mPMKs\\_8RoOoqD\\_a6p3u7nP1](https://56a7a608-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/tecnomarmolejo/que-aprendemos/--4o-e-s-o/--neumatica-e-hidraulica/--teoria-basica-neumatica/v%C3%A1lvula%20AND.jpg?attachauth=ANoY7cpj5GPgoBpMs7chB761ZVVyy9AkkpSPb2FfMWdAiIt6mPMKs_8RoOoqD_a6p3u7nP1)  
<http://ciclodelacalidad.blogspot.com/>. (16 de 3 de 2014). Obtenido de <http://4.bp.blogspot.com/-0cT9gZXSQUI/UyUqs9brgzI/AAAAAAAAADQ/au2rONPYe80/s1600/F.png>
- INEN, N. (agosto de 2018). *NTE INEN 0440 Colores de identificación de tuberías*. Quito. Obtenido de <https://ia801203.us.archive.org/15/items/ec.nte.0440.1984/ec.nte.0440.1984.pdf>
- Jarel Rivas, J. S. (junio de 2016). <http://ri.ues.edu.sv/>. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/11026/1/Sistema%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20seguridad%20y%20salud%20ocupacional%20para%20los%20talleres%20de%20las%20MIPYME%20del%20sector%20automotriz%20de%20El%20Salvador.pdf>
- Jetoma. (agosto de 2018). Obtenido de <https://www.jetomas.cz/kompresory/rozvod-stlaceneho-vzduchu/hadice-ke-kompresorum/spiralove-hadice/>:  
[https://www.jetomas.cz/111924-tm\\_home\\_default/spiralova-pu-hadice-5-m-o-6-mm-10-bar.jpg](https://www.jetomas.cz/111924-tm_home_default/spiralova-pu-hadice-5-m-o-6-mm-10-bar.jpg)
- Jiménez. (2003).
- Kaerer. (2018). Obtenido de <http://compressorservices.ie/wp-content/uploads/2016/10/Dry-running-reciprocating.jpg>
- Kaerer. (2018). <http://mx.kaerer.com/>. Obtenido de <http://mx.kaerer.com/m/Images/P-775-MX-tcm325-7411.pdf>
- Kompressoren, K. (s.f.). *www.kaerer.com*. Obtenido de [https://www.kaerer.com/inten/Media/B-KCT-Gruppe.jpg\\_17-10525.jpg](https://www.kaerer.com/inten/Media/B-KCT-Gruppe.jpg_17-10525.jpg)

Maggiolo, I. O. (20 de julio de 2018). *IMFIA*. Obtenido de Instituto de Mecanica de Fluidos e Ingenieria Ambiental: <https://www.fing.edu.uy/imfia/>

Manuel, T. (1996). *SERAUTO'S SERVICIOS AUTOMOTRICES*. 121.

Martinez. (2013).

Micromecánica, A. (2018). <http://www.microautomacion.com/>. Obtenido de [www.micro.com.ar](http://www.micro.com.ar)

MORANT, I. (agosto de 2018). [instalacionemorant.com](http://instalacionemorant.com). Obtenido de <https://instalacionemorant.com/project/instalaciones-de-aire-comprimido-para-industrias-y-taller-coches/>

*mundocompresor*. (julio de 2018). Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>

*mundocompresor*. (agosto de 2018). Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/como-funciona-compresor-tornillo-lubricado>

MUNER Compressors. (agosto de 2018). <http://munercompresores.com.mx/>. Obtenido de [http://munercompresores.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/trans\\_image3.jpg](http://munercompresores.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/trans_image3.jpg)

Neumaticos, S. (agosto de 2018). [sistemasneumaticos.wordpress.com](http://sistemasneumaticos.wordpress.com). Obtenido de <https://sistemasneumaticos.wordpress.com/simbologia-neumatica/>:  
<https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/simbologia-neumatica/>

Núñez, B. (abril de 2010). <https://es.slideshare.net/coaat97/unidad-neumatica-4-v1-c>. Obtenido de <https://image.slidesharecdn.com/unidadneumatica4v1c-100407161937-phpapp01/95/unidad-neumatica-4-v1-c-22-728.jpg?cb=1270657238>

Ocampo, K. (1 de agosto de 2018). [www.0grados.com](http://www.0grados.com). Obtenido de <https://www.0grados.com/escalas-de-temperatura/>:  
<https://www.0grados.com/admin/wp-content/uploads/2018/02/FoRMULAS-DE-CONVERSIoN-DE-TEMPERATURA.jpg>

s.a.i.c, A. M. (17 de julio de 2018). *Introduccion a la neumatica* . Wilde, Buenos Aires , Argentina.

*Técnicas de mecanizado para el mantenimiento de vehículos Grado medio* . (2014). Mac Millán.

Tedo, A. (18 de septiembre de 2014). *bricolajeyocio*. Obtenido de <http://bricolajeyocio.com/como-funciona-un-presostato/>: <http://bricolajeyocio.com/wp-content/uploads/2014/09/presostato-5.jpg>

*TodoNeumaticas*. (agosto de 2018). Obtenido de <https://static.mijnwebwinkel.nl/winkel/rib-parts/image/cache/full/3868b88799caf09a8c220f4adfcc69f7507da83f.jpg>

Viakon. (2018). <http://www.viakon.com>.

## ANEXOS

### ABREVIATURAS

❖ **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association (*Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos*). Es una asociación industrial estadounidense, creada el 1 de septiembre de 1926 tras la fusión de la *Associated Manufacturers of Electrical Supplies* (*Fabricantes de Suministros Eléctricos Asociados*) y la *Electric Power Club* (*Club de Potencia Eléctrica*).

❖ **CEI:** Comisión Electrotécnica Internacional. En inglés: IEC (*International Electrotechnical Commission*), es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Fundada en 1906. Su primer presidente fue Lord Kelvin. Tenía su sede en Londres hasta que en 1948 se trasladó a Ginebra, Suiza.

### GLOSARIO TÉCNICO

❖ **Actuador:** Aparato que transforma una fuente de energía en otra. Parte del automatismo que realiza el trabajo.

❖ **Aerógrafo:** Dispositivo neumático de variados diámetros, capaz de generar un rocío fino de pintura que cubre una superficie para su decoración o protección de los agentes externos.

❖ **Aerosol:** Recipiente donde se almacena un líquido que lleva un dispositivo en su parte superior que expulsa un líquido en forma de gotas muy finas.

❖ **Aislante:** Material que resiste el paso de la corriente del elemento conductor y protege a las personas frente a tensiones eléctricas.

❖ **Amperio (A):** Unidad de medida de la corriente eléctrica.

❖ **Bacteriófagos:** También denominados fagos. Son virus que infectan a las bacterias.

❖ **Bar:** Unidad de presión equivalente a un millón de dinas por centímetro cuadrado.

❖ **Carbón activado o carbón activo:** Es un término genérico que describe una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y una porosidad interna altamente desarrollada.

❖ **Cédula:** En tubos de acero, es la medida del grosor o espesor del tubo que forma parte de una tubería. La cédula dependerá de la aplicación a dar a la tubería, del material a

transportar, la intensidad y frecuencia de transporte. Cédulas en tubos de acero más utilizadas son: Cédula 40: Utilizada en tuberías de transporte de agua.

- ❖ Cédula 80: Utilizada en tuberías de alta presión.
- ❖ **Ciclónico:** Del ciclón o que tiene relación con el viento o la perturbación atmosférica.
- ❖ **Coalescente:** Es la posibilidad de que dos o más materiales se unan en un único cuerpo. El término es comúnmente utilizado para explicar los fenómenos de soldadura, en particular de metales.
- ❖ **Caudal:** En dinámica de fluidos, es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
- ❖ **Caudal (FAD):** Es una forma de medir el caudal de aire de un compresor en condiciones de aspiración. Las siglas significan **Free Air Delivery**, cuya traducción al español es Aire Libre Suministrado. Para calcular el caudal medido en condiciones de aspiración o FAD, tenemos que tener en cuenta la temperatura de aspiración del aire, humedad y presión absoluta en el lugar donde se ubica el compresor. No confundir con el caudal medido en condiciones normales, indicado con una “N”, o el caudal en condiciones estándar, indicado con una “S”. Todos están relacionados entre sí, por la temperatura, presión absoluta y humedad del lugar de instalación.
- ❖ **Cloruro de Polivinilo, PVC:** Combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo y la sal común. Es ligero, inerte, inocuo, resistente al fuego (no propaga la llama), impermeable, aislante (térmico, eléctrico y acústico), de elevada transparencia, fácil de transformar (por extrusión, inyección, calandrado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas) y reciclable.
- ❖ **Compresor:** Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores.
- ❖ **Condensación:** Es el cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa (generalmente en vapores) y pasa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización, si se produce un paso de estado gaseoso a estado sólido de manera directa, el proceso es denominado sublimación inversa o deposición.

- ❖ **Corriente:** Flujo de electrones a través de un circuito eléctrico.
- ❖ **Depósito de purga:** Mecanismo para eliminar el agua condensada de un sistema, situado en su parte inferior. Generalmente van montados con válvulas de purga automática.
- ❖ **Dióxido de carbono:** también conocido como CO<sub>2</sub>, gas carbónico y anhídrido carbónico referido a un gas, sin olor, sin color y poco reactivo, que se encuentra en las exhalaciones, se caracteriza por la interacción entre el gas que se encuentra en la atmósfera, el que se transfiere a los océanos desde la tropósfera y las extensas plantaciones de la tierra que transforman dicho dióxido de carbono a través de la fotosíntesis.
- ❖ **Dieléctrico:** De la sustancia aislante, capaz de mantener un campo eléctrico en estado de equilibrio, sin que pase corriente eléctrica por él. Se aplica al cuerpo o sustancia que es capaz de mantener energía electrostática, dado que no posee electrones libres capaces de transportar una corriente eléctrica.
- ❖ **Display:** Anglicismo; visualizador.
- ❖ **Emulsión:** Mezcla de aceite y agua. Sistema formado por dos fases muy poco solubles o insolubles entre sí, una de las cuales está distribuida muy finamente en otra. Líquido que tiene en suspensión partículas insolubles.
- ❖ **Transformaciones isométricas:** Son transformaciones de figuras en el plano que se realizan sin variar las dimensiones ni el área de las mismas; la figura inicial y la final son congruentes.
- ❖ **Estándar:** Origen etimológico del vocablo inglés standard. El concepto se utiliza para nombrar a aquello que puede tomarse como referencia, patrón o modelo.
- ❖ **Filtro estéril:** Son usados para filtración segura y sanitaria de aire comprimido y gases.
- ❖ **Gas:** Sustancia en estado gaseoso a temperaturas y presiones ordinarias.
- ❖ **Gay-Lussac:** Físico químico francés (1778-1850) que fijó la composición cualitativa del agua. Realizó trabajos sobre las relaciones volumétricas en la combinación de cuerpos gaseosos.
- ❖ **Helicoidal:** En geometría. Cualquier figura de tipo geométrica que tiene forma o figura de hélice, análogo al espiral o la línea curva tangente que forma un ángulo constante. Puede ser cónico, cilíndrico o esférico.

- ❖ **Hidráulico:** Líquido presurizado (aceite) para la transmisión de potencia contenido en una unidad de potencia, tuberías y un cilindro o motor.
- ❖ **Humedad relativa:** Cantidad de vapor de agua existente en un determinado volumen de aire, en relación a la cantidad de vapor de agua necesario para saturar el mismo volumen de aire a igual temperatura.
- ❖ **Humo de aceite:** Formado por gotitas más pequeñas que las de la neblina de aceite. Debido a las elevadas temperaturas de las piezas metálicas durante el mecanizado (p. ej. procedimientos de amolado), los líquidos para metalurgia se calientan en exceso y empiezan a “quemarse” y degradarse. Todo lo que tenga un diámetro más pequeño que la neblina de aceite, se considera que es humo de aceite.
- ❖ **Ktesibios:** Inventor, físico y matemático griego en Alejandría (285 - 222 a.C.).
- ❖ **Lama:** Cieno blando, suelto y pegajoso, oscuro, que se halla en algunos lugares del fondo del mar o de los ríos, y en el de los recipientes o lugares en donde hay o ha habido agua largo tiempo.
- ❖ **Materiales termoplásticos:** Aquellos que pueden ser derretidos una y otra vez. Estos materiales pueden ser calentados a una cierta temperatura y se endurecerán de nuevo a medida que se enfríen.
- ❖ **Microorganismos:** También llamado microbio u *organismo microscópico*. Conjunto de seres vivos que se caracterizan por tener un tamaño pequeño de modo que la mayoría de ellos no son visibles a simple vista, teniendo una gran sencillez en su estructura y organización.
- ❖ **Neblina de aceite:** Son pequeñas gotitas en el aire, con un diámetro de aprox. 1  $\mu$  (micra). Se genera porque los líquidos para metalurgia entran en contacto con herramientas que giran rápidamente (p. ej. procedimientos de fresado y taladrado). Entonces, la neblina de aceite se dispersa en el aire.
- ❖ **Neumático:** Aire comprimido utilizado para el control de aparatos que emplean aire limpio y seco.
- ❖ **Punto de condensación (punto de rocío):** Temperatura a la que el aire con una cierta concentración de vapor de agua debe enfriarse para producir la condensación de dicho vapor.

Temperatura a la que el aire queda saturado de vapor de agua. En este punto el vapor de agua se condensa y se convierte en gotitas de agua líquida. El punto de condensación varía con la humedad relativa.

- ❖ **Pascal:** Matemático, físico, filósofo y escritor francés (1623-1662). Unidad de presión equivalente a la presión ejercida por una fuerza de un Newton sobre un metro cuadrado.
- ❖ **Poliamida:** Es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida. Se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y también ser sintéticas, como el nylon o el Kevlar.
- ❖ **Poliuretano:** Es un material plástico que se presenta en varias formas. Puede fabricarse para que sea rígido o flexible. Es una resina termoplástica empleada en la fabricación de productos para sellantes y revestimientos; también se utiliza en la construcción, sobre todo en forma de espuma, no sólo para sellado de puertas, ventanas y saneamientos o reparar muros, aislar térmica y acústicamente, o impermeabilizar, sino también como elemento decorativo.
- ❖ **Potencia eléctrica:** Es la proporción por unidad de tiempo o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o *watt* (W).
- ❖ **Presóstato:** También conocido como interruptor de presión, es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.
- ❖ **Presión absoluta:** Se aplica al valor de presión referido al cero absoluto o vacío. Este valor indica la presión total a la que está sometido un cuerpo o sistema, tomando en cuenta el total de las presiones que actúan sobre él. Considerando el valor de presión que indica un manómetro, el valor de presión absoluta será el correspondiente al que aparece en dicho manómetro más el de la presión atmosférica correspondiente. La consideración del valor de presión absoluta en el aire comprimido es muy importante, se debe tener en cuenta para los cálculos del caudal de aire en condiciones FAD.
- ❖ **Presión efectiva o presión manométrica:** Corresponde al valor que se puede leer directamente en un manómetro o en un transmisor de presión. También es denominada **presión relativa** porque la lectura que hace el manómetro parte de considerar como valor cero la presión atmosférica existente en el lugar de medición.

Debido a esto, el valor que se ve en la pantalla o en la esfera del manómetro corresponde a la diferencia entre la **presión absoluta o real** y la **presión atmosférica**.

❖ **Presión de trabajo:** Conocida en la industria como presión relativa. La unidad de presión en el Sistema Internacional es el Pascal (Pa), equivalente a la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre un metro cuadrado de superficie. Pero este valor es muy bajo, por lo que la presión de trabajo se suele medir en atmósferas, en bares o en kilopondios por centímetro cuadrado (kp/cm<sup>2</sup>).

$$1 \text{ atm} \approx 1 \text{ bar} \approx 1 \text{ kp/cm}^2 \approx 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$$

❖ **Presión de aspiración o de succión:** En un compresor de aire, se llama así a la presión a la entrada del compresor, que corresponde a la presión atmosférica.

❖ **Presión de descarga:** Del compresor será constante al nivel ajustado de 7 ó 7.5 bar, por ejemplo, con independencia de la caída de presión del sistema. Con un bajo consumo de aire debido a una baja presión en la herramienta, el compresor funcionará a la misma presión, pero durante más tiempo para realizar un trabajo específico.

❖ **Racor:** Pieza roscada flexible que une dos tuberías.

❖ **Regulador de Presión:** Mecanismo conectado a un sistema para que su presión se mantenga constante mediante el control del caudal de salida a la atmósfera.

❖ **Temperatura:** Es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas) está constituida por moléculas que se encuentran en continuo movimiento. La suma de las energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica; y la temperatura es la medida de esa energía promedio.

❖ **Válvula:** Es un instrumento de regulación y control de fluido. Dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

❖ **Válvula de dos vías:** Válvula que tiene un solo orificio que puede estar normalmente abierto o cerrado.

❖ **Válvula de seguridad:** Válvula normalmente cerrada que actúa como un control de seguridad o por un aparato de emergencia para impedir el escape peligroso de un fluido.

- ❖ **Vapor de agua:** Gas producido por la ebullición cuando el agua se calienta a 100°C y una atmósfera de presión.
- ❖ **Vapor:** Es la forma gaseosa de una sustancia que no tiene forma ni volumen definido transformada a líquida mediante el calor.
- ❖ **Variador de Velocidad (VSD):** En inglés Variable Speed Drive, dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos utilizados para controlar la velocidad de rotación de una maquinaria, especialmente los motores.
- ❖ **Vatio:** Es la unidad derivada coherente del Sistema Internacional de Unidades (SI) para la potencia. Su símbolo es W. Es igual a 1 julio por segundo (1 J/s).
- ❖ **Volumen:** Describe el grosor o tamaño que posee un determinado objeto. Identifica a la magnitud física que informa sobre la extensión de un cuerpo en relación a tres dimensiones (alto, largo y ancho). Dentro del Sistema Internacional, la unidad es el metro cúbico (**m<sup>3</sup>**).
- ❖ **Voltaje, tensión o diferencia de potencial:** Es una magnitud física, con la cual podemos cuantificar o medir la diferencia de potencial eléctrico o la tensión eléctrica entre dos puntos, medible mediante un aparato llamado voltímetro.
- ❖ **Voltio:** Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir la tensión y fuerza electromotriz. Representado con el símbolo V.

**AUTO COMPUTARIZADO  
SANTANA**

FRANCISCO RICARDO SANTANA PLUA



**Diagnostico Computarizado**  
*Tecnología Automotriz Especializada*

Guayaquil, 16 de mayo de 2018

Ingeniero  
Edwin Puentes Moromenacho  
Director Académico  
**Facultad Ingeniería Automotriz UIDE**  
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Autorizo al Sr. **Roberto Carlos Campaña Rojas** – Estudiante, con cedula de ciudadanía N° **0918232554**, para hacer uso de información y de las instalaciones del Taller Automotriz, con el objetivo de contribuir a su trabajo de tesis denominado “DISEÑO DE UNA RED NEUMÁTICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”.

Faculto que el peticionario haga uso legal del presente documento en lo que a bien tuviere.

Muy atentamente,

Auto-Computarizado  
"SANTANA"

tuc. 0917076549001

Brasil 2107 entre Los Ríos

y Esmeraldas

# 2192928 - 097442600

**FRANCISCO SANTANA PLUA**

0917076549

Dirección: Brasil 2107 entre los Ríos Y Esmeraldas  
Teléfono: (04) 2192928-0994752514/0997442600

Email: autocomputarizadosantana@hotmail.com  
carscomputersantana@hotmail.com

GUAYAQUIL – ECUADOR

**AUTO COMPUTARIZADO**  
**SANTANA**

FRANCISCO RICARDO SANTANA PLUA



**Diagnostico Computarizado**  
*Tecnología Automotriz Especializada*

Guayaquil, 24 de mayo de 2018

Ingeniero  
Edwin Puente Moromenacho  
Director Académico  
**Facultad Ingeniería Automotriz UIDE**  
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Autorizo al Sr. **Roberto Carlos Campaña Rojas** – Estudiante, con cedula de ciudadanía N° **0918232554**, para hacer uso de información relacionado a las DIMENSIONES DEL ESPACIO FÍSICO, AL USO DEL AIRE COMPRIMIDO EN LAS ACTIVIDADES PROPIAS DEL SERVICIO Y LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DEL TALLER AUTOMOTRIZ: AUTO COMPUTARIZADO SANTANA con el objetivo de contribuir a su proyecto de titulación denominado “DISEÑO DE UNA RED NEUMATICA PARA SERVICIO DEL TALLER AUTOMOTRIZ AUTO COMPUTARIZADO SANTANA”.

Faculto que el peticionario haga uso legal del presente documento en lo que a bien tuviere.

Muy atentamente,

Auto-Computarizado

“SANTANA”

Ruc: 0917076549001

Direc.: Brasil 2107 entre Los Ríos

y Esmeraldas

Tlf - 2192928 - 097442600

**FRANCISCO SANTANA PLUA**

**0917076549**

Dirección: Brasil 2107 entre los Ríos Y Esmeraldas  
Teléfono: (04) 2192928-0994752514/0997442600

Email: autocomputarizadosantana@hotmail.com  
carscomputersantana@hotmail.com

GUAYAQUIL – ECUADOR