



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE AIRE  
COMPRESIDO PARA EL TALLER DE MAQUINARIA PESADA  
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**APUGLLON BAÑO ANGEL FERNANDO**

Riobamba-Ecuador

2024





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE AIRE  
COMPRESIDO PARA EL TALLER DE MAQUINARIA PESADA  
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR: APUGLLON BAÑO ANGEL FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. ELVIS ENRIQUE ARGUELLO**

Riobamba-Ecuador

2024

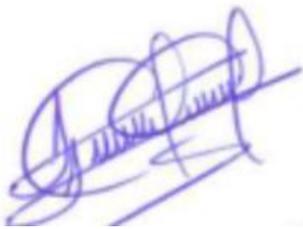
**©2024, Angel Fernando Apugllon Baño**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Apugllon Baño Angel Fernando, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de Enero del 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Angel Fernando Apugllon Baño', written in a cursive style.

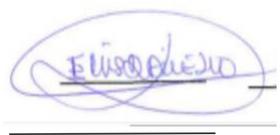
---

**Angel Fernando Apugllon Baño**

**CI: 060537963-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL TALLER DE MAQUINARIA PESADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por el señor: **ANGEL FERNANDO APUGLLON BAÑO** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Fernando Mauricio Tello Oquend <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2024-01-17 _____
Ing. Elvis Enrique Arguello <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR</b>	 _____	2024-01-17 _____
Ing. Edgar Fabian Sánchez Carrión <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR</b>	 _____	2024-01-17 _____

## **DEDICATORIA**

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia; principalmente, a mis padres que me apoyaron y contuvieron los momentos malos; gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño; Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio, también quiero dedicarle este trabajo a mi esposa Maria por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, y por su amor; Y finalmente, quiero dedicarle este trabajo a mi hija Emily, su nacimiento, ya sea por casualidad o causalidad, ha coincidido con la finalización de esta tesis. Sin duda ella es lo mejor que me ha pasado, y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

**Angel Fernando Apugllon Baño**

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo es realizado por parte de este humilde servidor quien con afan de dar un gran paso en primer lugar agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos a su vez tambien quiero agradecer a mi querida esposa que sin estar desde el principio me ha sabido dar el apoyo incondicional para llegar hasta donde estoy en estos instantes además le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional y finalmente y por que no decir un dios le pague a mi querida ESPOCH que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos.

**Angel Fernando Apugllon Baño**

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	vi
INDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1        MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1        Antecedentes.....	2
1.2        Planteamiento del problema .....	3
1.3        Justificación y actualidad.....	4
1.4        Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.5        Estado del arte.....	5
1.5.1 <i>Aire comprimido</i> .....	5
1.5.2 <i>Sistema de aire comprimido</i> .....	5
1.5.2.1 <i>Compresores</i> .....	6
1.5.2.2 <i>Depósito</i> .....	7
1.5.3 <i>Acondicionamiento de aire</i> .....	8
1.5.4 <i>Distribución de aire comprimido</i> .....	8
1.5.5 <i>Dispositivos neumáticos</i> .....	10
1.5.5.1 <i>Cilindros neumáticos</i> .....	10
1.5.5.2 <i>Actuadores de giro</i> .....	11

1.5.5.3	<i>Consumo de caudal de actuadores</i>	12
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>13</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>13</b>
2.1	<b>Tipo de investigación</b>	<b>13</b>
2.2	<b>Diseño de la investigación.....</b>	<b>13</b>
2.3	<b>Alcance de la investigación.....</b>	<b>13</b>
2.4	<b>Método de la investigación</b>	<b>13</b>
2.5	<b>Proceso de investigación</b>	<b>13</b>
2.6	<b>Equipos y materiales.....</b>	<b>14</b>
2.6.1	<i>Dimensionamiento de tubería.....</i>	<i>14</i>
2.6.2	<i>Consumo de caudal</i>	<i>16</i>
2.6.3	<i>Selección de compresor</i>	<i>18</i>
2.6.4	<i>Banco neumático.....</i>	<i>19</i>
2.6.5	<i>Pistolas neumáticas</i>	<i>20</i>
2.6.6	<i>Sistema de frenos de aire</i>	<i>21</i>
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>22</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>22</b>
3.1	<b>Equipos del taller de Maquinaria Pesada</b>	<b>22</b>
3.2	<b>Consumo de aire comprimido.....</b>	<b>22</b>
3.2.1	<i>Bancos neumáticos.....</i>	<i>22</i>
3.2.2	<i>Consumo de otros actuadores neumáticos</i>	<i>23</i>
3.2.3	<i>Factores de uso y simultaneidad.....</i>	<i>23</i>
3.3	<b>Selección de compresor.....</b>	<b>24</b>
3.3.1	<i>Capacidad de tanque</i>	<i>24</i>
3.4	<b>Selección de diámetro de tubería.....</b>	<b>25</b>
3.4.1	<i>Cálculo de pérdidas en línea principal.....</i>	<i>26</i>
3.4.2	<i>Línea de descarga.....</i>	<i>28</i>
3.5	<b>Cálculo de condensado.....</b>	<b>29</b>
3.6	<b>Montaje de red de aire comprimido.....</b>	<b>30</b>

<b>3.7</b>	<b>Instalación de compresor .....</b>	<b>31</b>
<b>3.8</b>	<b>Pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>32</b>
<b>3.8.1</b>	<b><i>Prueba de estanqueidad .....</i></b>	<b>32</b>
<b>3.8.2</b>	<b><i>Prueba de presión y almacenamiento .....</i></b>	<b>33</b>
<b>3.9</b>	<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>33</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>35</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>36</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Consumo de caudal de dispositivos neumáticos .....	12
<b>Tabla 2-1:</b> Factor de uso.....	17
<b>Tabla 2-2:</b> Factor de simultaneidad.....	17
<b>Tabla 2-3:</b> Especificaciones de pistola neumática .....	20
<b>Tabla 3-1:</b> Consumo de aire de los cilindros neumáticos de banco neumático .....	23
<b>Tabla 3-2:</b> Consumo de aire de otros actuadores .....	23
<b>Tabla 3-3:</b> Consumo de aire de la red neumática.....	24
<b>Tabla 3-4:</b> Tubo galvanizado para aire comprimido .....	26
<b>Tabla 3-5:</b> Especificaciones del compresor .....	31
<b>Tabla 3-6:</b> Inspección de estanqueidad .....	32
<b>Tabla 3-7:</b> Medición de parámetros de operación.....	33

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1.</b> Sistema de aire comprimido .....	6
<b>Ilustración 1-2.</b> Comportamiento de la presión y caudal de la red neumática .....	6
<b>Ilustración 1-3.</b> Tipos de compresos para aire comprimido .....	7
<b>Ilustración 1-4.</b> Deposito de aire y sus componentes .....	7
<b>Ilustración 1-5.</b> Red con puntos para el acondicionamiento de aire.....	8
<b>Ilustración 1-6.</b> Red de aire comprimido de circuito abierto.....	9
<b>Ilustración 1-7.</b> Red de aire comprimido de circuito cerrado.....	9
<b>Ilustración 1-8.</b> Tipos de actuadores neumáticos. ....	10
<b>Ilustración 1-9.</b> Tipos de cilindros neumáticos. ....	11
<b>Ilustración 1-10.</b> Tipos de actuadores de giro .....	11
<b>Ilustración 2-1.</b> Proceso de diseño e implementación de red de aire comprimido.....	14
<b>Ilustración 2-2.</b> Nomograma para tubería .....	16
<b>Ilustración 2-3.</b> Determinación del volumen del acumulador .....	18
<b>Ilustración 2-4.</b> Esquema de un circuito neumático utilizado en el banco de pruebas.....	19
<b>Ilustración 2-5.</b> Cilindro neumático de simple efecto y accesorios de conexión .....	20
<b>Ilustración 2-6.</b> Pistola neumática .....	20
<b>Ilustración 2-7.</b> Fuerza de accionamiento de freno acorde a presión de trabajo. ....	21
<b>Ilustración 3-1.</b> Capacidad de tanque de la red de aire comprimido .....	25
<b>Ilustración 3-2.</b> Longitud equivalente línea principal. ....	27
<b>Ilustración 3-3.</b> Pérdida de presión en la línea principal .....	28
<b>Ilustración 3-4.</b> Pérdida de presión en la línea de descarga .....	29
<b>Ilustración 3-5.</b> Operación de trabajos en la tubería.....	30
<b>Ilustración 3-6.</b> Proceso de montaje de la tubería de la red neumática .....	30
<b>Ilustración 3-7.</b> Compresor para la red neumática .....	31
<b>Ilustración 3-8.</b> Instalación del compresor de aire .....	32

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO 1: PLANO DEL TALLER DE MAQUINARIA PESADA**

**ANEXO 2: RED NEUMÁTICA**

**ANEXO 3: PROCESO DE INSTALACIÓN**

## RESUMEN

Actualmente los procesos industriales utilizan el aire comprimido como fuente de energía y conversión de movimientos, de la misma manera el aire comprimido puede ayudar en el funcionamiento de varias máquinas neumáticas, tal es el caso de un banco neumático el cual está diseñado como un sistema modular que permite la construcción y configuración de diferentes circuitos neumáticos y así finalmente llevar a cabo una variedad de pruebas y demostraciones. Este trabajo se orientó en implementar una red de aire comprimido para el taller de maquinaria pesada con la finalidad de operar diferentes dispositivos disponibles dentro del taller con fines didácticos y aprender cada una de las funciones que traen o pueden llevar estos dispositivos. La metodología del trabajo corresponde a una investigación aplicada utilizando los principios de la neumática, mecánica de fluidos y termodinámica para el diseño de la red de aire comprimido, con un alcance explicativo del proceso de diseño de la red y utilizando el método cualitativo, para la obtención de la demanda de aire comprimido y los componentes correspondientes por medio de los modelos físicos apropiados con el fin de obtener las dimensiones y el funcionamiento correcto en el taller de maquinaria pesada; por ello, este proceso establece los componentes del mismo como el compresor, tanque de almacenamiento, dimensiones de tubería y accesorios. Las pruebas de funcionamiento demuestran las presiones de trabajo y caudal acorde a los requerimientos establecidos, a la vez la caída de presión se encuentra en un valor aceptable para la operación de los componentes a instalarse. La red instalada corresponde a un circuito cerrado que asegure el equilibrio de presión, para la operación de estos componentes se utilizó un compresor de pistones de 2 HP, con un flujo máximo de 250 l/min y una presión máxima de 800 kPa (8 bar), con ello, funcionaron los equipos del taller de maquinaria pesada.

**Palabras clave:** <RED DE AIRE COMPRIMIDO> <BANCO NEUMÁTICO>  
<COMPRESOR> <MAQUINARIA PESADA> <NEUMÁTICA>.

0257-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

Nowadays, industrial processes utilize compressed air as a source of energy and motion conversion. Similarly, compressed air can assist in the various pneumatic machines working, such as a pneumatic bench designed as a modular system enabling the construction and configuration of different pneumatic circuits. It allows for the execution of various tests and demonstrations. This project focused on implementing a compressed air network for the heavy machinery workshop to operate different devices available in a workshop for educational purposes. The methodology of the work corresponds to applied research using the principles of pneumatics, fluid mechanics, and thermodynamics for the design of the compressed air network. The approach includes an explanatory scope of the network design process using qualitative methods to determine the compressed air demand and necessary components through appropriate physical models. It ensures obtaining the dimensions and correct functioning in the heavy machinery workshop. The network components, such as the compressor, storage tank, pipe dimensions, and accessories, are established through this process. Functional tests demonstrate working pressures and flow rates by the specified requirements. The pressure drop is maintained at an acceptable value for the operation of the installed components. The installed network is designed as a closed circuit to ensure pressure balance. A 2 HP piston compressor with a maximum flow of 250 l/min and a maximum pressure of 800 kPa (8 bar) was used to operate the heavy machinery workshop equipment effectively.

**Keywords:** <COMPRESSED AIR NETWORK> <PNEUMATIC BENCH>  
<COMPRESSOR> <HEAVY MACHINERY> <PNEUMATICS>.



---

Lic. Patricia Moyota A. Mgs

ID number: 0603611013

**EFL Teacher**

## INTRODUCCIÓN

El aire comprimido opera bajo los conceptos de la ley de los gases, y constituye un recurso muy abundante en la naturaleza. Esta ley establece las relaciones entre las variables: presión, temperatura, volumen y cantidad de materia o moles. En términos de inversión, la instalación de aire comprimido constituye una inversión inicial alta, con ventajas considerables con otras fuentes de energía en el mediano plazo.

La implementación de una red de aire comprimido permitirá el accionamiento de los equipos instalados en el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz. Estos equipos operando con aire comprimido facilitaran el uso de los implementos disponibles en el taller, a la vez, permite el trabajo en cualquier actividad relacionada al uso de aire comprimido, con ello, el alumno puede relacionar la teoría con la práctica dentro del campo de aplicación de la ingeniería automotriz.

El trabajo técnico corresponde a una investigación aplicada, se utilizará los principios de la neumática, mecánica de fluidos y termodinámica para el diseño de la red de aire comprimido, para alcanzar el funcionamiento de los equipos que requieran de aire comprimido en el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz. El diseño del trabajo es experimental, con alcance explicativo, la red neumática se diseña en base a los modelos matemáticos y experimentales encontrados en la revisión bibliográfica realizado, lo que detalla el cálculo de consumo de aire comprimido acorde a la información de los componentes a instalar dentro del taller mencionado, de esta forma, se dimensiona el compresor con la presión máxima de trabajo, así como, la dimensión de la tubería, para mantener la presión de trabajo y las caídas de presión admisible, estableciendo una línea principal de  $\frac{3}{4}$  pulgada de diámetro exterior.

Con los cálculos establecidos, se procede a la instalación de la red neumática dentro del espacio físico del taller, para ello, se establece un diagrama de flujo y los planos de instalación, así como las pruebas de operación. Una vez ensamblado la tubería y los accesorios en los lugares apropiados se instala el compresor para el suministro de presión de trabajo en la red. Las pruebas de funcionamiento comprueban los rangos de presión y caudal, así como la estanqueidad en la red instalada.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

Acorde a la revisión bibliográfica efectuada, se identifica el trabajo desarrollado por Ravichahua (2017), titulado “Sistema de red de aire comprimido”, tiene por objetivo seleccionar los componentes de una red neumática acorde a una aplicación específica. El trabajo utiliza un enfoque cuantitativo para identificar los parámetros de entrada y los parámetros de salida, por medio de los cálculos correspondiente obtiene las dimensiones apropiadas para la red de aire comprimido. El autor recomienda el uso de monograma y nomograma para calcular el diámetro de la tubería. El proceso aplicado facilita el diseño de la red neumática propuesta.

Otro trabajo desarrollado por Cruz y Osorio (2020), titulado “Simulación de una red de aire comprimido con dos tomas para el laboratorio de tecnología industrial de la ESFOT-EPN”, cuyo objetivo es “simular una red de aire comprimido con dos tomas para el laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT-EPN” El proceso metodológico se enfoca en la comparación de seis métodos de cálculo para el dimensionamiento de la tubería. Una vez establecido la dimensión, se procede a la simulación utilizando ANSYS. Los resultados muestran el material más idóneo acorde a los parámetros de trabajo establecidos. Los resultados indican que el material con menos caída de presión en las simulaciones es el PVC, a la vez, existe un margen de error menor al 2 % entre los valores calculados y simulados.

En el trabajo desarrollado por Ríos (2021) titulado Diseño y dimensionamiento de una red de aire comprimido para las áreas de mecánica, vulcanizado, pintura y taller mecánico para la Empresa Grupo Noroccidental”, cuyo objetivo es “diseñar y dimensionar una red de aire comprimido, mediante el cálculo del caudal necesario, el uso de nomograma de aproximación para diámetros internos y la simulación en el programa PipeFlow” (Ríos, 2021, p. 12). Este trabajo se enfoca en el dimensionamiento de la tubería acorde a las necesidades de las áreas de trabajo de la empresa utilizado la herramienta VSM y el programa PipeFlow, para la optimización de los recursos utilizados, así como la mejora de las actividades ejecutadas, para la mejora de calidad y la reducción de tiempos de trabajo. Los resultados establecen un total de 67,61 pie cubico por metro (cfm), necesarios para que las áreas del taller de mantenimiento no sufran paras por falta de la energía neumática, a la vez, la simulación comprueba los valores calculados con un margen menor al 3%.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El aire comprimido opera bajo los conceptos de la ley de los gases, y constituye un recurso muy abundante en la naturaleza. Esta ley establece las relaciones entre las variables: presión, temperatura, volumen y cantidad de materia o moles. En términos de inversión, la instalación de aire comprimido constituye una inversión inicial alta, con ventajas considerables con otras fuentes de energía en el mediano plazo.

Acorde a Cruz y Osorio (2020), la red de aire comprimido el conjunto de tuberías que inician en el depósito, instaladas de modo que queden firmemente unidas entre sí, y que transportan el aire comprimido a los puntos de conexión para los dispositivos individuales (p. 27). El componente esencial de la red constituye el compresor, indispensable para la operación apropiada del sistema instalado. Las redes de aire comprimido deben facilitar los requerimientos de cada componente en uso, por ello, es importante identificar la cantidad de puntos de salida de aire comprimido y los límites de presión de aire, en este proceso es importante, la calidad del aire comprimido, debido al costo de los componentes incorporados.

El taller de maquinaria pesada dispone equipos que operan con aire comprimido, estos equipos forman parte de circuitos básicos o complejos, capaz de emular la operación diversos sistemas relacionados al campo automotriz. La implementación de aire comprimido es necesaria para la enseñanza de los sistemas neumáticos, que logrará la relación entre la teoría y la práctica.

### **1.3 Justificación y actualidad**

La implementación de una red de aire comprimido permitirá el accionamiento de los equipos instalados en el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz. Estos equipos operando con aire comprimido facilitaran el uso de los implementos disponibles en el taller, a la vez, permite el trabajo en cualquier actividad relacionada al uso de aire comprimido, con ello, el alumno puede relacionar la teoría con la práctica dentro del campo de aplicación de la ingeniería automotriz.

Un sistema de aire comprimido diseñado apropiadamente permite el uso de varios componentes o equipos a la vez, lograra el trabajo de varios grupos de estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Implementar una red de aire comprimido para el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Diagnosticar la demanda de aire comprimido para el taller de maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz.
- Diseñar el tipo de red de aire comprimido para el taller de maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz
- Seleccionar los componentes de la red de aire comprimido para el taller de maquinaria pesada.
- Instalar la red de aire comprimido diseñada para el taller de maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz
- Ejecutar las pruebas de funcionamiento de la red de aire comprimido

## **1.5 Estado del arte**

### ***1.5.1 Aire comprimido***

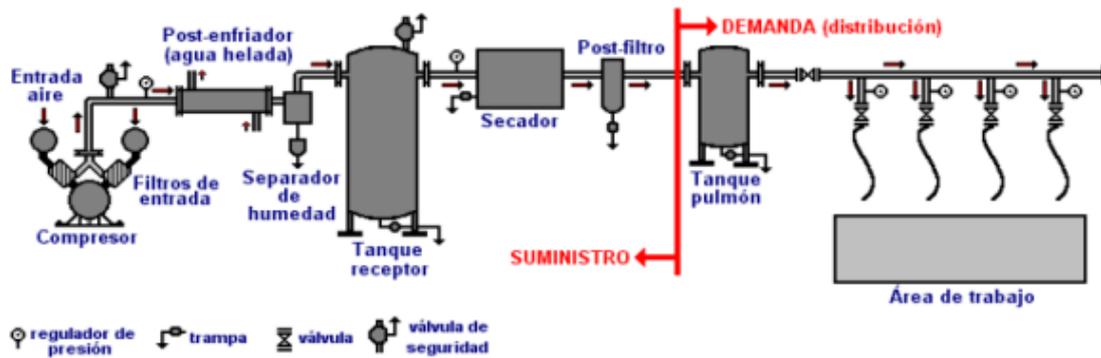
El aire comprimido constituye una de las formas de energía más antiguas conocidas por el hombre, a la vez, permite el aprovechamiento de los recursos físicos. Los orígenes de esta energía datan de muchos siglos atrás, pero, desde 1950, se considera una aplicación industrial para los procesos de fabricación siendo la base de la neumática. En la actualidad, constituye una aplicación importante para el movimiento y la automatización industrial utilizando componentes y circuitos neumáticos.

Las aplicaciones de aire comprimido, cumplen demandas específicas, acorde a una amplia variedad de herramientas, componentes o equipos portátiles, tales como, taladros, martillos, pistolas de impacto, entre otras. Estos componentes se conectan a una red de aire comprimido diseñada apropiadamente acorde a los flujos de aire y presión establecidos por el fabricante. Para lograr el aire comprimido óptimo, es necesario, disponer de un sistema de generación, transmisión, instalación y tratamiento acorde a las necesidades de operación de la instalación o proceso industrial.

### ***1.5.2 Sistema de aire comprimido***

El sistema de aire comprimido permite el suministro del caudal apropiado, bajo las presiones de trabajo requeridos, por cada componente neumático instalado en cada punto de conexión, sin interferir en la simultaneidad del funcionamiento de cada dispositivo. En la figura 1-1, se muestra la configuración del sistema de aire comprimido, identificándose las siguientes secciones:

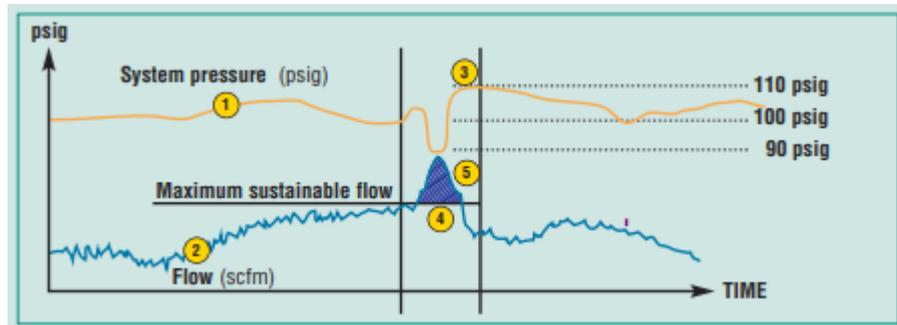
- Producción, se genera el aire comprimido, el componente esencial es el compresor, constituye el corazón del sistema.
- Acondicionamiento, encargado del filtrado utilizando con los filtros, secadores y tanque receptor, estos aseguran la calidad del aire para las herramientas o equipos instalados.
- Distribución, se identifica la tubería hasta los puntos de utilización (Domínguez, 2011, p. 75).



**Ilustración 1-1.** Sistema de aire comprimido

Fuente: Bosch, 2010

La operación del aire comprimido, conlleva impurezas, tales como, polvo, hollín, suciedad y vapor de agua. Estas partículas se combinan con las del propio compresor, se agregan depósitos de polvo, óxido y elementos hermetizantes utilizadas en el montaje de las tuberías y accesorios, para ello, es importante el acondicionamiento del aire comprimido. El diseño de la red neumática debe asegurar la presión de operación de sistema y el suministro de aire a todos los puntos de descarga, en la figura 1-2, se evidencia el comportamiento de sistema de aire comprimido compensando las caídas de presión acorde a la presión de diseño.



**Ilustración 1-2.** Comportamiento de la presión y caudal de la red neumática

Fuente: Bosch, 2010

### 1.5.2.1 Compresores

Constituye el elemento central de una instalación productora del aire comprimido, cuya función es elevar la presión del aire atmosférico absorbido al sistema. Para la selección del compresor, se identifica el parámetro del caudal suministrado (l/min), así como, la presión máxima alcanzable.

Los tipos de compresores son los siguientes:

- Compresores de pistones
- Compresores rotativos
- Compresores centrífugos

El compresor rotativo presenta las mayores ventajas en relación a la capacidad de producción de aire tanto en volumen y presión, siendo a la vez, el equipo de operación más silenciosa. En la figura 1-3, se identifican los tipos de compresores.



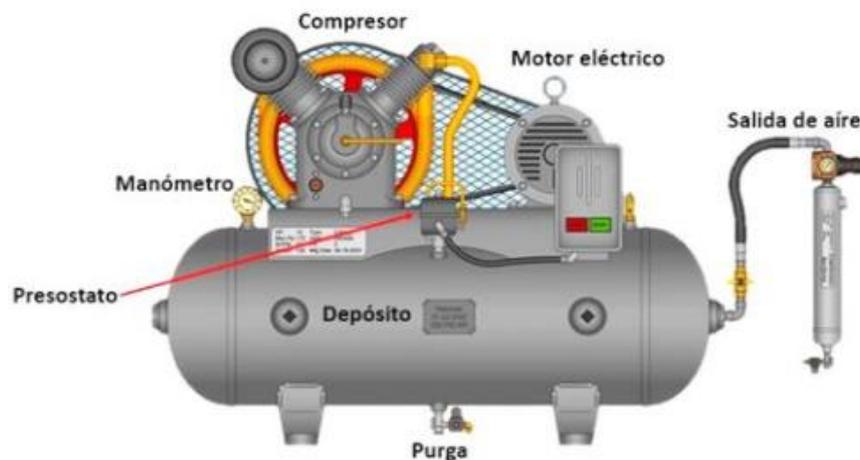
**Ilustración 1-3.** Tipos de compresores para aire comprimido

Fuente: Ríos, 2021

### 1.5.2.2 Depósito

Los depósitos son cuerpos cilíndricos, fabricados en acero, disponen de accesorios, tales como, manómetro, válvula de seguridad y punto de purga, presostato para arranque y paro del motor (figura 1-4). El tamaño depende del compresor y el tipo de red, se pueden montar en forma horizontal o vertical. Este componente cumple múltiples funciones, entre ellas, son las siguientes:

- Regular las caídas de presión por la salida de aire y demanda puntual de aire
- Permite un trabajo intermitente
- Amortiguar las pulsaciones del caudal de salida

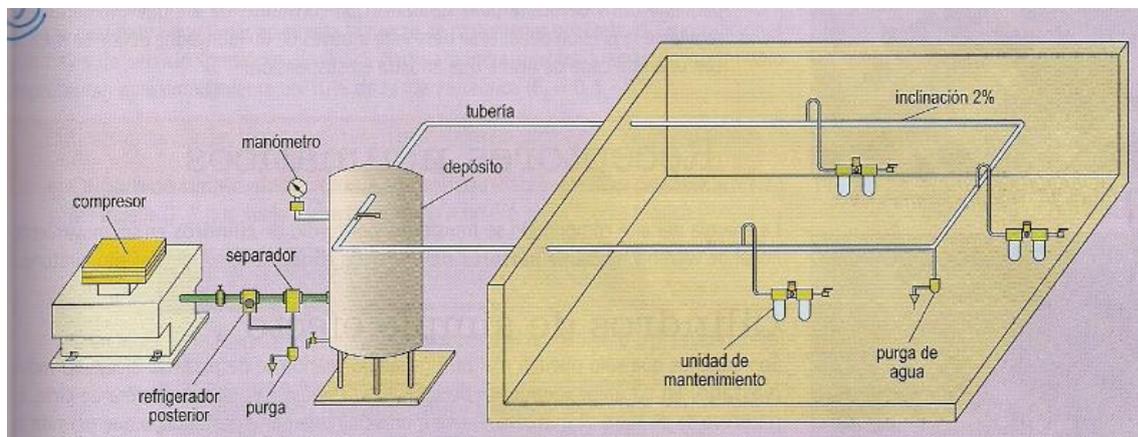


**Ilustración 1-4.** Depósito de aire y sus componentes

Fuente: (Bosch, 2010, p. 332)

### 1.5.3 Acondicionamiento de aire

El aire posee impurezas que causan daños a los equipos neumáticos, identificando los siguientes elementos: agua, aceite, polvo y suciedad. Cada uno de estos elementos interactúa en la instalación del aire comprimido provocando problemas operativos, en el caso de la humedad y las impurezas del aire comprimido pueden ser extraídas con la ayuda de dispositivos especiales. Los sistemas disponen de secadores y filtros, en la primera fase instalados a la salida del depósito y en posterior en la salida de la tubería del suministro a los elementos neumáticos, generalmente el agua se condensa en el tramo final, por ello, se dispone de punto de purga (Cruz y Osorio, 2020, p. 21). En la figura 1-4, se identifica los puntos de acondicionamiento del aire comprimido.



**Ilustración 1-5.** Red con puntos para el acondicionamiento de aire.

Fuente: Cruz y Osorio, 2020, p. 21

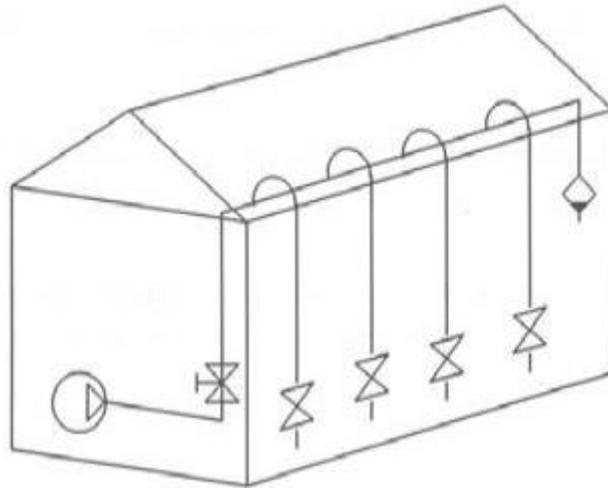
### 1.5.4 Distribución de aire comprimido.

La distribución de aire, utiliza una red de tuberías dimensionadas apropiadamente con base al caudal de suministro. La red inicia en el depósito, interconectado todos los puntos hasta el suministro en los puntos de trabajo. Los materiales empleados en la tubería son importantes para la calidad del aire y la caída de presión, por ello, los requerimientos son los siguientes:

- Mínima pérdida de presión
- Mínima pérdida de aire por fugas.
- Mínima cantidad de agua en la red y en los puntos de utilización.

El dimensionamiento de la tubería, considera varios factores, entre ellos, son el caudal de aire, caída presión máxima, presión de trabajo y la longitud de la tubería. Las redes de aire comprimido, se dividen en dos tipos, en la figura 1-6, se identifica el circuito abierto, que permite la distribución de aire acorde a las necesidades de aire en cada punto. La longitud de la tubería se determina a

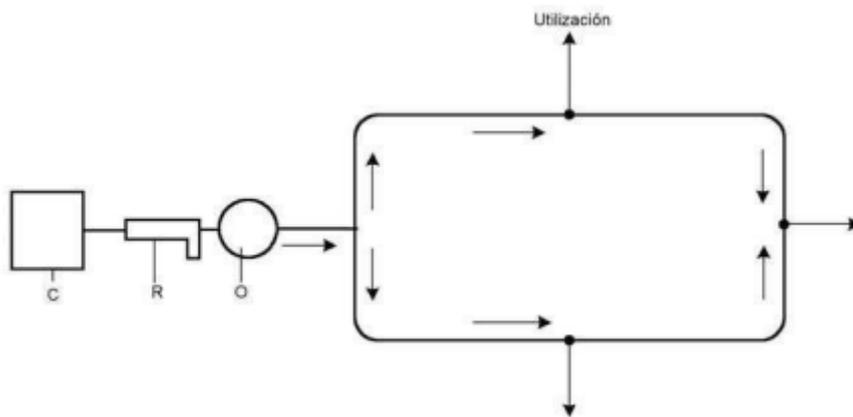
partir del trazado de la instalación y deben ser tenidos en cuenta los accesorios instalados (Alonso, 2018, p. 65).



**Ilustración 1-6.** Red de aire comprimido de circuito abierto

Fuente: Alonso, 2018, p. 66

En la figura 1-6, se identifica el circuito cerrado o anillo, que permite mantener el nivel de presión constante en cada uno de los puntos de conexión, logrando un suministro equilibrado y mínimas fluctuaciones de presión, a la vez, se facilita la desconexión por secciones.

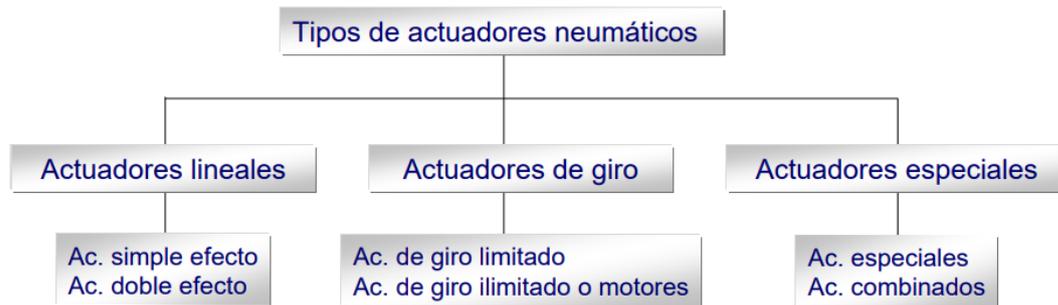


**Ilustración 1-7.** Red de aire comprimido de circuito cerrado

Fuente: Alonso, 2018, p. 68

### 1.5.5 Dispositivos neumáticos

Los receptores del aire comprimido, se denominan como actuadores neumáticos o dispositivos neumáticos, estos permiten la transformación de la energía neumática en trabajo mecánico, por ello, se identifican dos grupos: cilindros y motores. En la figura 1-7, se identifica la clasificación de los actuadores neumáticos.

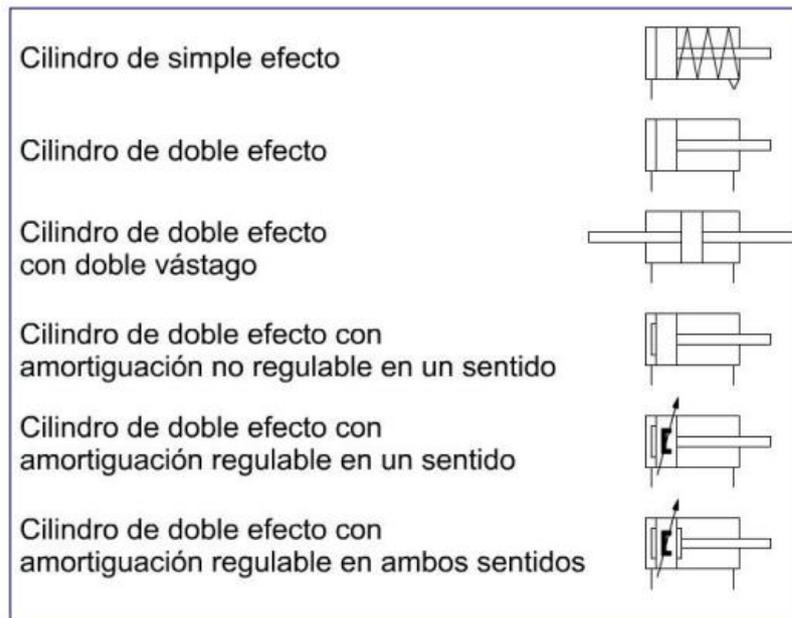


**Ilustración 1-8.** Tipos de actuadores neumáticos.

Fuente: Festo, 2012, p. 35

#### 1.5.5.1 Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son actuadores que permiten convertir el trabajo en movimiento rectilíneo o lineal, para ello, se identifican dos tipos de cilindros, de simple efecto y doble efecto. El cilindro de simple efecto recibe presión de aire en un solo ingreso y el retroceso se efectúa por un resorte ubicado en el interior del cilindro. Los cilindros de doble efecto disponen de dos vías de conexión, que se utilizan para la alimentación y evacuación del aire a presión. En la figura 1-8, se identifica los diferentes tipos de cilindros neumáticos, cada uno se emplea acorde a la aplicación o uso.

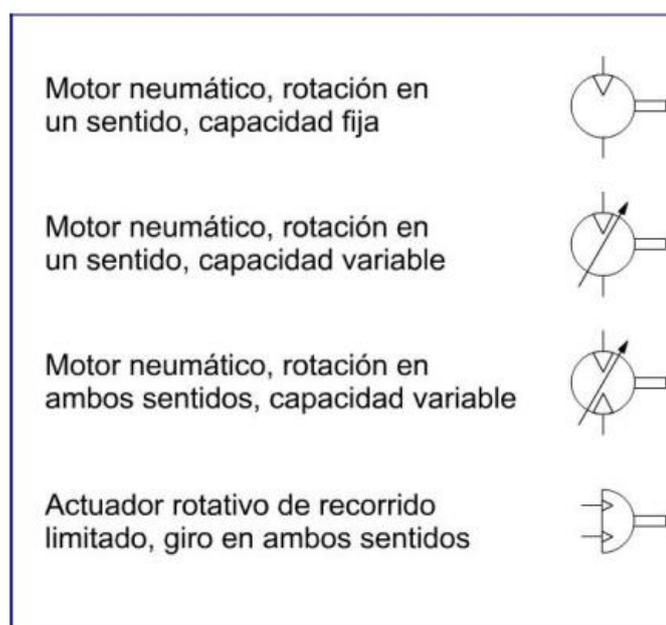


**Ilustración 1-9.** Tipos de cilindros neumáticos.

Fuente: Festo, 2012, p. 65

### 1.5.5.2 Actuadores de giro

Estos actuadores convierten la energía neumática en movimientos giratorios mecánicos de giro limitado o giro continuo. Cada tipo de actuador de giro se clasifica con base al diseño, aplicación y rango de giro, en la figura 1-9, se identifica algunos actuadores de giro, en el caso del motor neumático constituye el actuador más empleado en la industria.



**Ilustración 1-10.** Tipos de actuadores de giro

Fuente: Festo, 2012, p. 65

### 1.5.5.3 Consumo de caudal de actuadores

En la industria existe una infinidad de actuadores neumáticos, el uso está relacionado al consumo de aire y presión de trabajo de la aplicación. En la tabla 1-1, se tabulan el consumo de aire de los diferentes dispositivos neumáticos.

Tabla 1-1: Consumo de caudal de dispositivos neumáticos

Dispositivo neumático	Consumo (Nltros/s)	Dispositivo neumático	Consumo (Nltros/s)	Dispositivo neumático	Consumo (Nltros/s)
Elevador neumático 0.5-5.0 Ton	20-55	Taladradora 1 kW	18	Motor neumático 1,4 kW	36
Taladro	3-22	Taladradora 2 kW	35	Motor neumático 3,5 kW	84
Amoladora	5-824	Lijadora 0,75 kW	17	Martillo cincelador	8
Llave neumática de impacto	8-14	Lijadora 1,5 kW	28	Cilindro de avance	16
Pistola (general)	8	Destomillador neumático 0,3 kW	5	Pistola de inyección	10
Pistola de chorro de arena	20-32	Destomillador percusor	15 a 30	Cortador de roscas	16

Fuente: Festo, 2017, p. 54

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipo de investigación

El trabajo técnico corresponde a una investigación aplicada, se utilizará los principios de la neumática, mecánica de fluidos y termodinámica para el diseño de la red de aire comprimido, para alcanzar el funcionamiento de los equipos que requieran de aire comprimido en el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

#### 2.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que establecerá los componentes a instalar en la red neumática acorde a la demanda de los equipos disponibles en el taller de maquinaria pesada.

#### 2.3 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es explicativo, para ello, se identifican los diferentes métodos de cálculo para tubería y compresor, con base a las necesidades de aire comprimido, los elementos del taller de maquinaria pesada, se seleccionará los componentes de la red de aire comprimido, que facilitan la operación integral y la posterior implementación.

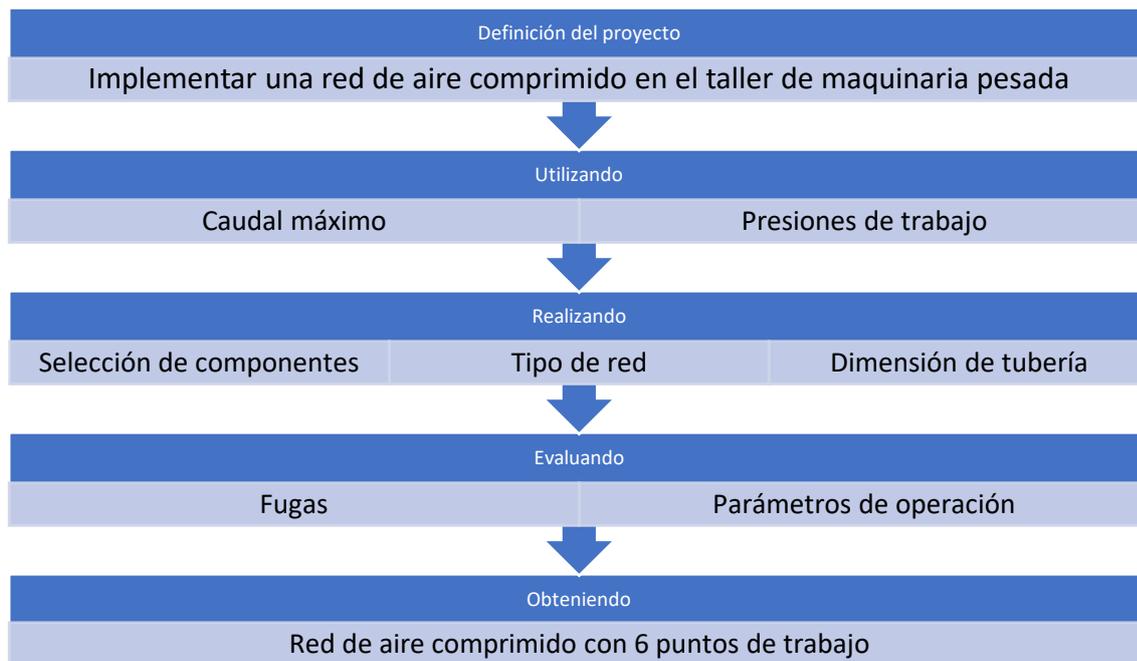
#### 2.4 Método de la investigación

El trabajo técnico utilizara un enfoque cuantitativo, es decir, cuantificará la demanda de aire comprimido, acorde a esta información, utiliza los métodos y modelos físicos apropiados, para obtener las dimensiones de la red de aire comprimido y el funcionamiento correcto en el taller de maquinaria pesada. Los procesos de cálculo y selección, utilizan el método de análisis y síntesis para identificar los componentes de la red neumática.

Para las pruebas de funcionamiento se utiliza la inspección visual, la medición de los parámetros de operación, esta combinación de métodos favorece al logro de los objetivos planteados.

#### 2.5 Proceso de investigación

Acorde a los métodos de investigación planteados, se describe el procedimiento del trabajo para la selección de los componentes de la red neumática, el tipo de red y las dimensiones de las tuberías de la red. En la figura 2-1, se identifica los pasos establecidos para el proceso del diseño e implementación de la red en el taller de maquinaria pesada.



**Ilustración 2-1.** Proceso de diseño e implementación de red de aire comprimido

Realizado por: Apugllon, 2022

## 2.6 Equipos y materiales

### 2.6.1 Dimensionamiento de tubería

El proceso de dimensionamiento de la tubería constituye un paso esencial en el funcionamiento de la red de aire comprimido con la finalidad de reducir la caída de presión y suministrar el caudal de aire apropiado a cada punto de conexión. Para el cálculo se utilizan algunos métodos, entre ellos, los siguientes:

- Flujo interno con diagrama de Moody.
- Nomograma de Festo

Para el dimensionamiento de la tubería, se calcula la fricción empleando la ecuación 2-1.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log\left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}}\right) \quad (2-1)$$

Donde:

- $\varepsilon_r$ : Rugosidad relativa (adimensional).
- $\varepsilon$ : Rugosidad absoluta (*mm*).
- $\emptyset$ : Diámetro interno de la tubería (*mm*).

$f$ : Fricción del material (adimensional).

$Re$ : Número de Reynolds (adimensional).

$\varepsilon_r$ : Rugosidad relativa (adimensional)

Con la fricción establecida, se calcula la caída de presión del sistema, utilizando la ecuación 2-2.

$$\Delta P = f * \frac{L}{\emptyset} * \frac{\rho * Vel^2}{2} \quad (2-2)$$

Donde:

$\Delta P$ : Caída de presión en el sistema (*Pa*).

$f$ : Factor de fricción (adimensional).

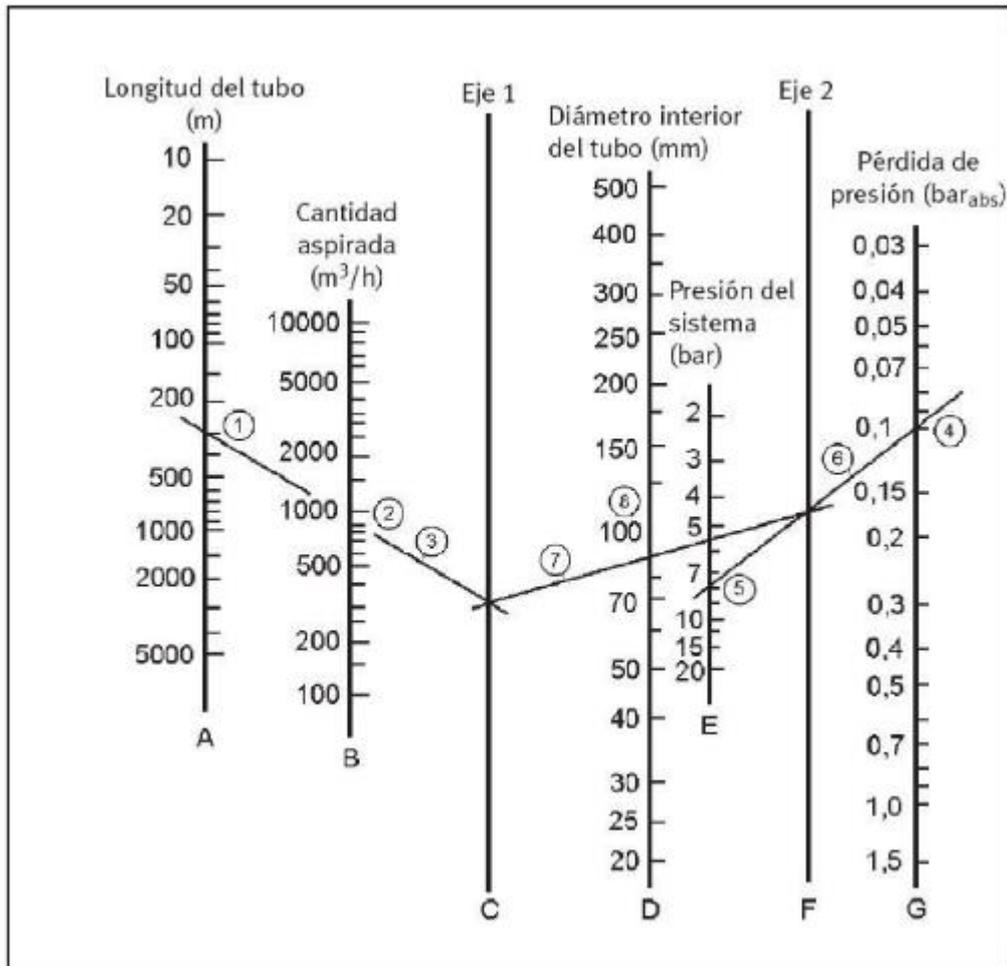
$\rho$ : Densidad del fluido (*kg/m<sup>3</sup>*).

$\emptyset$ : Diámetro interno de la tubería (*m*).

$L$ : Longitud de la tubería (*m*).

$Vel$ : Velocidad del fluido (*m/s*).

Con la información calculada, se procede a la elección del diámetro de tubería, utilizando el nomograma de Festo.



**Ilustración 2-2.** Nomograma para tubería

Fuente: Festo, 2012

### 2.6.2 Consumo de caudal

Para dimensionar correctamente una red neumática debe considerarse que el compresor debe proporcionar tanto aire como el que las unidades consumen de forma intermitente. Para identificar la cantidad de aire necesario, es apropiado identificar los siguientes aspectos:

- Factor de uso, corresponde al tiempo de operación del dispositivo conectado, es propio de cada equipo, se pueden establecer acorde a la aplicación e industria. En la tabla 2-1, se muestra una referencia para varios dispositivos.
- Factor de simultaneidad, identifica la cantidad de dispositivos trabajando a la vez, en la tabla 2.2, se muestra datos tomados en determinadas industrias.

Tabla 2-1: Factor de uso

Dispositivo neumático de consumo	Factor de uso (duración de la conexión a la red)
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Mortero	15%
Moldeadora	20%
Pistola neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%

Fuente: Festo, 2012

Tabla 2-2: Factor de simultaneidad

Nº Dispositivos neumático de consumo	Factor de simultaneidad	Nº Dispositivos neumático de consumo	Factor de simultaneidad
1	1	9	0,73
2	0,94	10	0,71
3	0,89	11	0,69
4	0,86	12	0,68
5	0,83	13	0,67
6	0,8	14	0,66
7	0,77	15	0,65
8	0,75	100	0,2

Fuente: Festo, 2012

Para el diseño del sistema, se identifica todos los dispositivos, los factores de uso y de simultaneidad, con base a la información, se calcula el caudal de consumo con la ecuación 2-3.

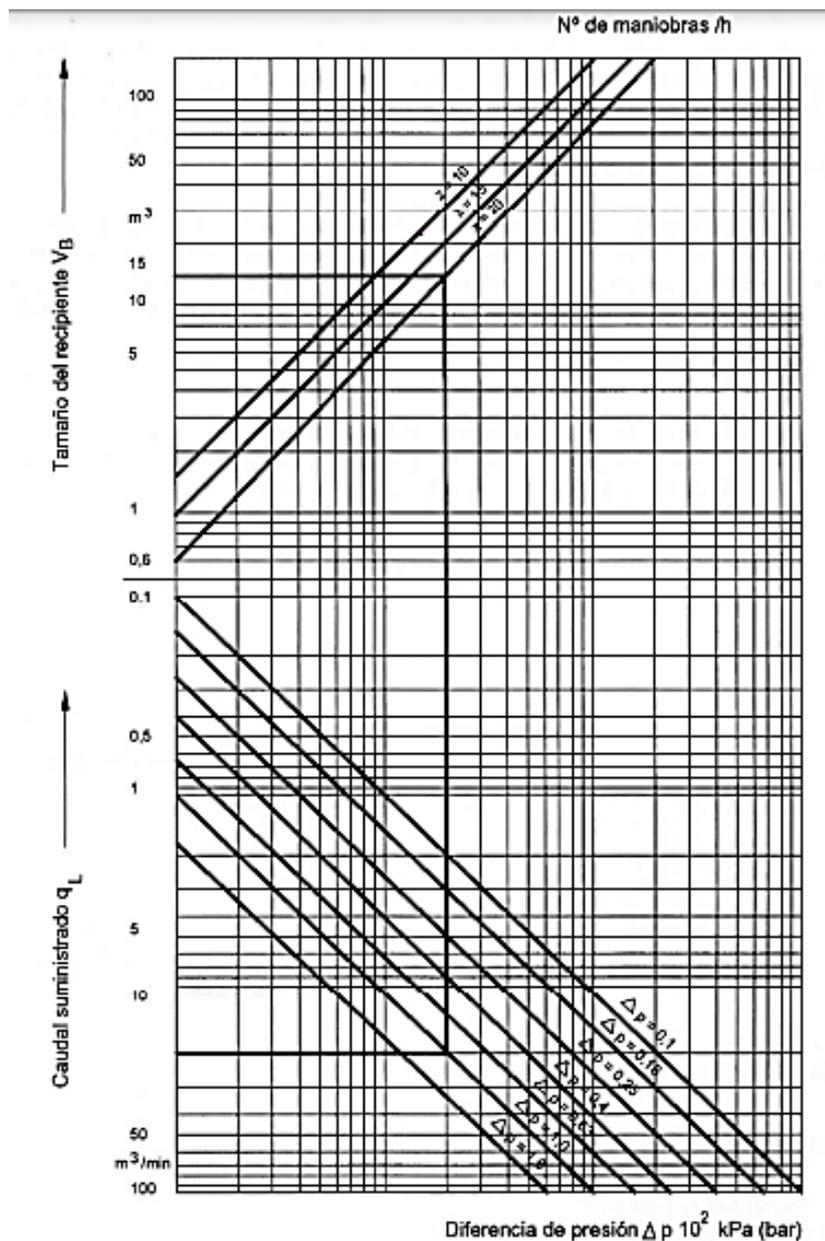
$$Q(l/s) = \sum_{i=1}^n (N^{\circ} \text{ unidades} * l/s \text{ por unidad}) * \frac{\text{Factor de uso}}{100} * \text{Factor simultaneidad}$$

### 2.6.3 Selección de compresor

El tamaño del compresor depende de los siguientes factores:

- Caudal del compresor.
- Cantidad de aire requerido en el sistema.
- Red de tuberías.
- Regulación del compresor.
- Oscilación permisible de la presión en el sistema (Festo, 2012).

En la figura 2-3, se identifica los parámetros de selección del acumulador, acorde a la operación del compresor.

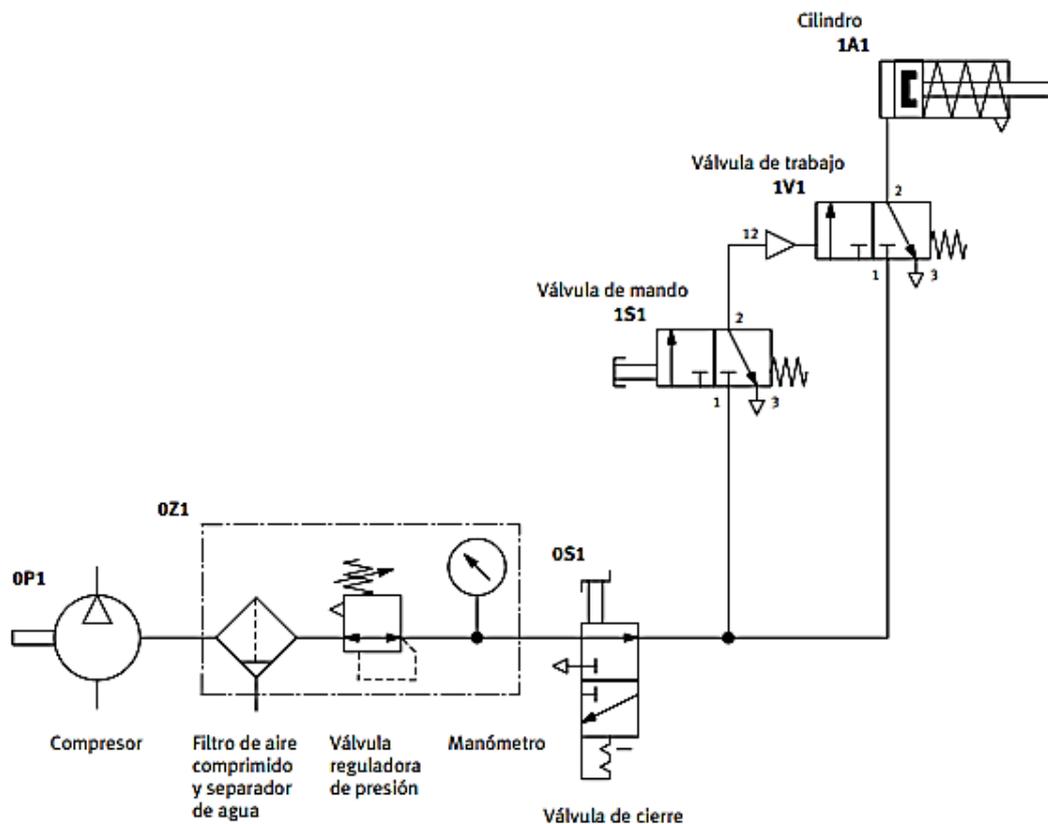


**Ilustración 2-3.** Determinación del volumen del acumulador

Fuente: Festo, 2012

#### 2.6.4 Banco neumático

Los bancos neumáticos, disponen de componentes apropiados para la simulación de los circuitos más utilizados en la industria, para ello, se diseñan los circuitos apropiados para el conocimiento y la aplicación de cada elemento disponible. A la vez, estos circuitos pueden operar de forma manual, semiautomática, lógica y automática, en la figura 2-4, se muestra un circuito neumático para el accionamiento de un cilindro.



**Ilustración 2-4.** Esquema de un circuito neumático utilizado en el banco de pruebas

Fuente: Festo, 2012

En la figura 2-5, se identifica un tipo de actuador (cilindro de simple efecto) que dispone un banco neumático, así como, los accesorios necesarios para su accionamiento y conexión dentro del circuito neumático planteado.



**Ilustración 2-5.** Cilindro neumático de simple efecto y accesorios de conexión

Fuente: Festo, 2022

### 2.6.5 Pistolas neumáticas

Las pistolas permiten el paso de aire con accionamiento por palanca, incluye una función de ahorro de aire integrada y boquillas intercambiables. En la tabla 2-4, se detalla las especificaciones del elemento, a la vez, en la figura 2-5, se identifica la pistola neumática.



**Ilustración 2-6.** Pistola neumática

Fuente: Festo, 2022

Tabla 2-3: Especificaciones de pistola neumática

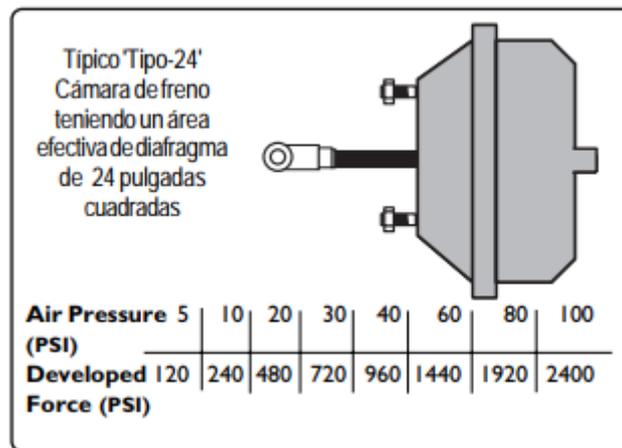
Característica	Descripción
Presión de trabajo	0 – 10 bar
Caudal nominal	120 con 6 bar
Conexión	Rosca interior G1/4
Función	Choro de aire dosificable

Fuente: Festo, 2022

Realizado por: Apugllon, 2022

### 2.6.6 Sistema de frenos de aire

Los sistemas de freno de aire utilizan la presión de aire para activar el sistema de frenos del vehículo, cada vez que se activa el pedal de freno, por ello, el compresor entrega aire comprimido en un rango de 100 a 120 psi, del compresor pasa al tanque y de ahí a la línea del sistema de frenos, y se conserva en los actuadores de freno, hasta su aplicación. La fuerza de frenado depende del tamaño del vehículo y los ejes instalados, por lo tanto, influye el peso del vehículo o la distribución de peso en los ejes del vehículo. En la figura 2-6, se muestra el comportamiento de la fuerza acorde a la presión suministrada.



**Ilustración 2-7.** Fuerza de accionamiento de freno acorde a presión de trabajo.

Fuente: Bendix, 2004

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Equipos del taller de Maquinaria Pesada

Los equipos estimados para el taller de Maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, acorde a la consulta a los docentes encargados, son los siguientes:

- 6 bancos de pruebas de neumática,
- 2 sistemas de frenos de aire
- Pistolas neumáticas

El espacio del Taller de Maquinaria Pesada, se muestra en el plano disponible en el Anexo A, las dimensiones del espacio son de 13 metros de longitud, 7 metros de ancho y una altura de 4 metros, bajo estas condiciones y los equipos enlistados, se propuso la instalación de 6 puntos de descarga.

#### 3.2 Consumo de aire comprimido

##### 3.2.1 Bancos neumáticos

Acorde a los manuales de Festo y el software disponible de Festo, se efectuó la estimación del consumo de caudal para los bancos neumáticos, considerando como actuadores cilindros de simple efecto y doble efecto instalados en circuitos neumáticos, bajo las siguientes condiciones:

- Presión de trabajo: 600 kPa (6 bar).
- Pérdida admisible de 10 kPa.

Los resultados del cálculo del gasto de aire de cada banco de prueba se muestran en la tabla 3-1. Se considera que los tres actuadores operan a la vez en dos bancos neumáticos, el consumo lo establece el programa de Festo acorde a las características de los cilindros neumáticos considerados con actuadores.

**Tabla 3-1:** Consumo de aire de los cilindros neumáticos de banco neumático

Actuador	Diámetro [mm]	Carrera [mm]	Consumo[l/min]
Cilindro simple efecto	25	50	10,3
Cilindro doble efecto	25	50	19
Cilindro de doble accionamiento (vástago continuo)	25	100	34,6
Accesorios	3	800	1,7

Fuente: Festo, 2022  
Realizado por: Apugllon, 2022

Con los resultados obtenidos de la página de cálculo de Festo, el consumo total corresponde 65,6 [l/min], considerando que operan los tres actuadores al mismo tiempo en un solo banco neumático.

### 3.2.2 Consumo de otros actuadores neumáticos

Acorde a la información descrita en la sección 2.6, se detalla las características de los equipos posibles en el taller de Maquinaria Pesada, en la tabla 3-2, se detalla el consumo de cada componente identificado.

Tabla 3-2: Consumo de aire de otros actuadores

Actuador	Presión de trabajo [kPa]	Consumo [l/min]
Pistola neumática	600	120
Frenos de aire	800 - 1000	200

Fuente: Festo, 2022  
Realizado por: Apugllon, 2022

Considerándose la operación simultanea de todos los componentes, se obtiene un total de 500 l/min.

### 3.2.3 Factores de uso y simultaneidad

Los actuadores neumáticos no emplean la red todo el tiempo, por ello, se estima el consumo con base a los factores de uso y simultaneidad recomendados por los fabricantes de componentes neumáticos, en la tabla 3-3, se detalla los factores considerados para establecer el consumo de óptimo de la red neumática.

Tabla 3-3: Consumo de aire de la red neumática

Actuador	Consumo neto [l/min]	Factor de uso [%]	Factor de Simultaneidad	Consumo óptimo [l/min]
Pistola neumática	120	10	0,80	9,6
Frenos de aire 1	200	20		32
Banco 1	65,6	30		15,7
Banco 2	65,6	30		15,7
Banco 3	65,6	30		15,7
Banco 4	65,6	30		15,7
<b>TOTAL</b>				<b>104,4</b>

Fuente: Festo, 2022  
Realizado por: Apugllon, 2022

Utilizando los factores de simultaneidad y de uso para los equipos establecidos, se obtiene un consumo de aire comprimido de 104, 4 [l/min] para la red a diseñar.

### 3.3 Selección de compresor

El sistema de aire comprimido opera bajo las siguientes características:

- Consumo de aire [Q]: 110 l/min
- Puntos de descarga: 6
- Pérdida admisible de presión: 10 kPa
- Presión de servicio [P]: 600 kPa (6 bar)

Para el cálculo de la potencia del compresor (Pot), emplea la ecuación 3-1. Los compresores de aire normalmente entregan de 100 a 140 [l/min] por caballos de fuerza a una presión de descarga de 100 psig.

$$Pot = \frac{P \cdot Q}{600} \quad [3-1]$$

$$Pot = \frac{P \cdot Q}{600} = \frac{8 \cdot 110}{600} = 1,46 \text{ kW (1,97 HP)}$$

La potencia del compresor para el suministro de 6 puntos de descarga con el consumo de aire estimado en la sección 3.2, es de 2 HP.

#### 3.3.1 Capacidad de tanque

Para la operación del sistema de aire comprimido, se utiliza un tanque de reserva o almacenamiento para evitar las caídas de presión y el suministro de aire oportuno a cada punto de descarga, utilizando la información de caudal y presión se estima la capacidad del tanque, como se detalla en la figura 3-1.

Flujo volumétrico requerido	0.11	m³/min
Tiempo de amortiguación	2	min
Presión inicial del depósito	8.5	bar
Presión final del depósito	6	bar
Capacidad del depósito*	0.09	m³

**Ilustración 3-1.** Capacidad de tanque de la red de aire comprimido

Fuente: Kaeser, 2022

Con los parámetros de operación estimados, se establece un tanque con capacidad de reserva de 90 litros.

### 3.4 Selección de diámetro de tubería

Acorde a la dimensión del taller de Maquinaria Pesada, se estableció la longitud máxima nominal de la red de aire comprimido, con las siguientes especificaciones:

- Consumo de aire [Q]: 6,6 m³/h (110 l/min)
- Longitud nominal mínima: 42 m.
- Pérdida admisible de presión: 8 kPa
- Presión de sistema [P]: 800 kPa (8 bar)

Las características del compresor y las condiciones de operación del sistema determinan el diámetro de la tubería principal, considerando una velocidad máxima (V) de 10 m/s, para ello, se emplea la ecuación 3-2, para el diámetro interno de la tubería.

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad [3-2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,00183}{\pi * 10}}$$

$$d = 15,4 \text{ mm}$$

Los resultados indican el uso de una tubería de diámetro exterior equivalente a 3/4 pulgada (19,05 mm), acorde a la disponibilidad en el mercado local. Los datos de la tubería galvanizada se muestran en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Tubo galvanizado para aire comprimido

TUBO REDONDO GALVANIZADO							
Espesos			Peso		Propiedades		
	Diámetro Exterior (D)	e	P	A	I	W	I
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
<b>3/4</b>	<b>19.05</b>	1.1	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.5	4.2	0.83	0.32	0.34	0.62
<b>1</b>	<b>25.4</b>	1.1	4.2	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.5	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
		1.8	6.3	1.33	0.93	0.74	0.84
		2	6.9	1.47	1.01	0.8	0.83

Fuente. Acerocomercial, 2022

### 3.4.1 Cálculo de pérdidas en línea principal

Para establecer las pérdidas de presión, se determinó la longitud equivalente al considerar los accesorios necesarios para la operación de esta línea. En la figura 3-2, se muestra los resultados de la longitud equivalente.

Diámetro de la tubería		DN	25	
			Longitud equivalente [m]	Número
Codo R = d		0.4	<input type="text" value="4"/>	
Conexión T sin cambio		0.5	<input type="text" value="2"/>	
Conexión T con cambio		1.5	<input type="text" value="6"/>	
Válvula de mariposa / válvula de bola		0.3	<input type="text" value="2"/>	
Válvula check		2	<input type="text" value="3"/>	
Reducción a DN: 20		0.5	<input type="text" value="0"/>	
<b>Longitud equivalente a tubería, de todos los accesorios instalados</b>			<input type="text" value="18.2"/>	<b>m</b>

**Ilustración 3-2.** Longitud equivalente línea principal.

Fuente: Kaeser, 2022

La longitud total de la línea principal es de 60, 2 metros, a partir de los datos de operación, se estableció la pérdida de presión en la línea principal. La pérdida de presión se muestra en la figura 3-3.

Flujo volumétrico	0.11	m <sup>3</sup> /min
Longitud nominal	60.2	m
Presión de servicio absoluta	8	bar
Diámetro interior de la tubería	16	mm
Caída de presión	0.01	bar

**Ilustración 3-3.** Pérdida de presión en la línea principal

Fuente: Kaeser, 2022

La pérdida de presión para la línea principal es de 0,01 bar (1 kPa), esta pérdida es inferior al valor estimado de 10 kPa, por ello, las dimensiones de la tubería son favorables para la operación del sistema de aire comprimido.

### 3.4.2 Línea de descarga

La operación de la red de aire comprimido en la línea de descarga, son las siguientes especificaciones:

- Consumo de aire [Q]: 6,6 m<sup>3</sup>/h (110 l/min)
- Longitud nominal mínima: 2,5 m.
- Presión de sistema [P]: 600 kPa (8 bar)

La línea de descarga se conecta directamente a la línea principal de la red de aire comprimido, por ello se verificó el diámetro con la ecuación 3-2, como se detalla a continuación.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,00183}{\pi 10}}$$

$$d = 2,7 \text{ mm}$$

Los resultados muestran la necesidad de reducir el diámetro de la tubería de descarga a una tubería de diámetro exterior de 1/2 pulgada. Con estos resultados, se determinó la pérdida de presión en la línea de descarga, como se muestra en la figura 3-4.

Flujo volumétrico	0.1	m <sup>3</sup> /min
Longitud nominal	5.2	m
Presión de servicio absoluta	6	bar
Diámetro interior de la tubería	9	mm
Caída de presión	0.02	bar

**Ilustración 3-4.** Pérdida de presión en la línea de descarga

Fuente: Kaeser, 2022

La pérdida de presión para la línea descarga es de 2 kPa (0,02 bar), por ello, las dimensiones de la tubería son favorables para la operación del sistema de aire comprimido en los puntos de descarga.

### 3.5 Cálculo de condensado

Para el cálculo del condensado se obtuvo la información relacionada a la humedad relativa y la temperatura de la ciudad de Riobamba, con base a los datos climáticos, los valores promedio de temperatura es de 12, 8 °C y una humedad relativa ( $\phi_{rel}$ ) del 85,3%. El condensado se calcula con la ecuación 3-3.

$$X = 0,622 \frac{\phi_{rel}.ps}{P - \phi_{rel}.ps} \quad [3-3]$$

Donde:

**X** = contenido de agua

**ps** = presión de saturación a 13 °C (0,01551bar)

**P** = presión absoluta de Riobamba (1,014bar)

$$X = 0,622 \frac{\phi_{rel}.ps}{P - \phi_{rel}.ps}$$

$$X = 0,622 \frac{0,853 * 0,01551}{1,016 - 0,853 * 0,01551}$$

$$X = 8,21 \left[ \frac{g}{kg} \right]$$

Para determinar la cantidad de agua por volumen de aire, se multiplica por la densidad del aire, obteniéndose el siguiente resultado.

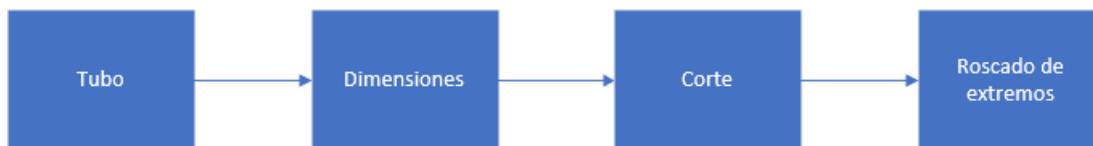
$$X = 8,21 \left[ \frac{g}{kg} \right] \cdot 1,18 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$X = 9,68 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

Este resultado muestra que se genera aproximadamente 10 g de agua por cada  $m^3$  de aire comprimido, al considerar el caudal del sistema de  $6,6 m^3/h$ , se produce un total de 66 g de agua por cada hora de trabajo del compresor.

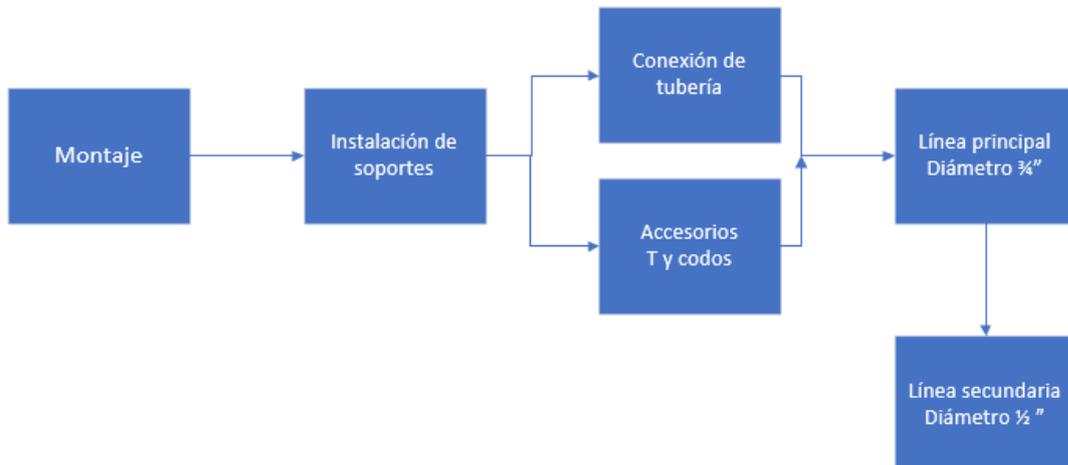
### 3.6 Montaje de red de aire comprimido

El proceso de montaje de la red, acorde a los datos y parámetros establecidos, se acoge a las dimensiones del espacio físico del taller de Maquinaria Pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz, este proceso se detalla en las figuras 3.5 y 3.6.



**Ilustración 3-5.** Operación de trabajos en la tubería

Realizado por: Apugllon, 2022



**Ilustración 3-6.** Proceso de montaje de la tubería de la red neumática

Realizado por: Apugllon, 2022

### 3.7 Instalación de compresor

Para la operación de la red neumática, se requiere la instalación y operación de un compresor, para ello, se dimensionó un equipo de 2 HP y un tanque de 100 litros, en la figura 3-7, se muestra el equipo correspondiente.



**Ilustración 3-7.** Compresor para la red neumática

Fuente: Apugllon, 2022

Los datos técnicos del compresor se detallan en la tabla 3-5, esta información establece una conexión eléctrica de 120 V para la operación y suministro de aire comprimido, en la figura 3-8, se identifica la zona de la conexión eléctrica.

**Tabla 3-5:** Especificaciones del compresor

Parámetro	Valor
Marca - Modelo	BP -00907
Presión	8 bar (115 psi)
Potencia	2 HP (1,5 kW)
Capacidad	280 l/min (10 cfm)
Voltaje	110 V
Intensidad	20 A
Ciclo de trabajo	50%



**Ilustración 3-8.** Instalación del compresor de aire  
**Fuente:** Apugllon, 2023

### 3.8 Pruebas de funcionamiento

Para comprobar la operación de la red neumática se determinó las siguientes pruebas:

- Prueba de estanqueidad
- Prueba de presión y almacenamiento

#### 3.8.1 Prueba de estanqueidad

El proceso de estanqueidad permite descubrir las posibles fugas en la red neumática instalada, para ello, se inspeccionó cada punto de conexión y la caída de presión en el manómetro instalado en el compresor, los resultados se muestran en la tabla 3-6, se escogió cinco puntos de conexión.

Tabla 3-6: Inspección de estanqueidad

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Punto 1	Sin fuga
Punto 2	Sin fuga
Punto 3	Sin fuga
Punto 4	Sin fuga
Punto 5	Sin fuga

**Elaborado por:** Apugllon, 2022

### 3.8.2 Prueba de presión y almacenamiento

Para comprobar los requerimientos de operación de la red neumático, se midió las presiones de trabajo y el tiempo de carga y descarga del compresor, en la tabla 3-7, se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 3-7:** Medición de parámetros de operación

Parámetro	Resultado
Presión de trabajo	8 bar
Tiempo de carga	10,5 minutos
Presión mínima	5.5 bar
Tiempo de recuperación	5,2 minutos
Caída de presión	5 kPa

Elaborado por: Apugllon, 2022

En la instalación neumática se comprobó el ángulo de caída hacia la puerta de ingreso identificando un ángulo aproximado de 5 grados de inclinación, esto favorece a la caída de condensado en el punto cercano a la puerta o en la esquina.

### 3.9 Análisis de resultados

Para comprobar el dimensionamiento de la red neumática, se comprobó la velocidad del aire al interior de la tubería, para ello se calcula presión del sistema y la sección de la tubería, utilizando las siguientes ecuaciones:

Caudal comprimido ( $Q_c$ )

$$Q_c = Q_n \frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{T_c}{T_n}$$
$$Q_c = 0,11 \frac{0,731 \text{ bar}}{8 \text{ bar}} \cdot \frac{15 \text{ }^\circ\text{C}}{15 \text{ }^\circ\text{C}}$$
$$Q_c = 0,010 \text{ m}^3/\text{min}$$

Área de sección circular ( $A$ )

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi \cdot (0,0168)^2}{4}$$

$$A = 2.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la velocidad en la tubería se calcula así:

$$v = \frac{Qc}{A}$$
$$v = \frac{0,014 \text{ m}^3/\text{min} \frac{1\text{min}}{60}}{2.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$v = 7,5 \text{ m/s}$$

Para el diseño del sistema se considero un valor entre 5 y 10 m/s, considerando un flujo laminar, por ello, el dimensionamiento de la red cumple con el tipo de flujo establecido.

Las pruebas de funcionamiento demuestran las presiones de trabajo y caudal acorde a los requerimientos establecidos, a la vez la caída de presión se encuentra en un valor aceptable para la operación de los componentes a instalar en el taller de maquinaria pesada.

## CONCLUSIONES

La red neumática instalada corresponde a un circuito cerrado para asegurar el equilibrio de presión, para la operación se utilizó un compresor de pistones de 2 HP, con un flujo máximo de 250 l/min y una presión máxima de 800 kPa (8 bar), con ello, funcionarían los equipos del taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Los equipos del taller de maquinaria son bancos didácticos de neumática, pistolas de aire y sistema de freno de aire, considerando el consumo de aire de cada componente, así como los factores de uso y simultaneidad, se establece un consumo de 6,6 m<sup>3</sup>/h (110 l/min).

Los componentes de la red neumática, se seleccionaron con base al flujo de caudal de aire de los equipos del taller, la red emplea una tubería de ¾ pulgada, con una caída de presión de 1 kPa, a la vez, la red operó en un rango de presión de 550 kPa a 800 kPa, identificando el correcto dimensionamiento de la tubería de la red neumática.

La red neumática instalada operó en los rangos de presión de diseño, el tiempo requerido para alcanzar la máxima presión es de 10,5 minutos y un tiempo de recarga de 5 minutos, acorde a las pruebas de funcionamiento realizadas.

## **RECOMENDACIONES**

Analizar los cambios de presión en la red neumática si se cambian los equipos instalados en el taller de maquinaria pesada, considerándose la potencia del compresor instalado-

Analizar la ubicación del compresor para cambios futuros en relación al nivel de ruido y facilidad de acceso acorde las modificaciones al interior del taller de maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz.

Estimar los requerimientos de mantenimiento de la red neumática instalada en el taller de maquinaria pesada de la carrera de Ingeniería Automotriz.

## **GLOSARIO**

**Actuadores de giro.** Dispositivos de conversión de la energía neumática en movimientos giratorios mecánicos de giro limitado o giro continuo.

**Actuadores neumáticos.** Son dispositivos para la transformación de la energía neumática en trabajo mecánico, identificándose dos grupos: cilindros y motores.

**Banco neumático.** Utilizan componentes apropiados para la simulación de los circuitos más utilizados en la industria, para ello, se diseñan los circuitos apropiados para el conocimiento y la aplicación de cada elemento disponible.

**Cilindros neumáticos.** Son actuadores que permiten convertir el trabajo en movimiento rectilíneo o lineal.

**Compresor.** Es el corazón de la red neumática, suministra la presión de trabajo.

**Red neumática.** Es el conjunto de elementos instalados para la operación de aire comprimido utilizando un compresor bajo condiciones establecidas de presión y caudal.

## BIBLIOGRAFÍA

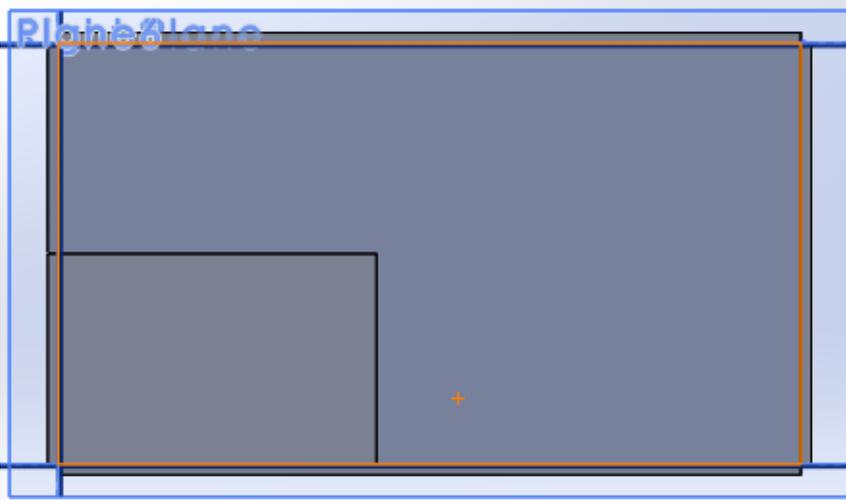
1. **BALLADARES, J. L., & COTA, A.** *Diseño e implementación de la red de Aire Comprimido Industria METALCI SA.*[En línea] Cuenca-Ecuador 2018 [Consulta: 14 octubre 2022] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18763/1/UPS-CT008774.pdf>
2. **CELI, D. & MORENO, J.** *Propuesta de rediseño de la red de aire comprimido para la planta de cerámicos.* [En línea] Graiman. Cuenca-Ecuador .2020. [Consulta: 28 octubre 2022] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18763/1/UPS-CT008774.pdf>
3. **CHALÉN, H., PÓLIT, J., & TUTIVEN, C.** *Rediseño de un sistema de aire comprimido en una planta de alimentos.* [En línea] (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP). 2021. [Consulta: 11 Noviembre 2022]: Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54733>
4. **Cruz Vela, D. M. & Osorio Amaguaña, F.X.** (2020) Simulación de una red de aire comprimido con dos tomas para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT-EPN. [En línea]. 76 hojas. Quito - Ecuador: EPN. [ Consulta: 9 Diciembre 2022] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21299>
5. **RAMÍREZ, D.** *Rediseño de red de distribución de aire comprimido en Planta Geotérmica Pailas.* [En línea] Cartago - Costa Rica 2018. [ Consulta: 23 diciembre 2022] Disponible en: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/rediseño\\_red\\_distribucion\\_aire\\_comprimido\\_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/rediseño_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
6. **RAVICAHUA, A.** Sistema de red de aire comprimido. [En línea] Lima-Peru. 2017.[Consulta: 13 enero 2023 ] Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/4688>.
7. **SANTOS, G.** Diseño e instalación de la red de aire comprimido y rediseño de taller de mecánica y servicios SA.[En Línea] Viña Del Mar - Chile 2014.[Conculata: 6 enero 2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/305178637/disen-de-red-de-aire-comprimido-para-taller>
8. **SILVA, C., & ANTONIO, B.** Estudio de la red de aire comprimido en la Unidad de Desarrollo Tecnológico. [En Línea ] Concepcion - Chile. 2013. [Consulta: 20 enero 2023 ]Disponible en: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/795/1/Coloma\\_Silva\\_Bernardo.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/795/1/Coloma_Silva_Bernardo.pdf).
9. **SOTO, A., & TIRADO, F.** *Propuesta de rediseño de la red de aire comprimido de Industrias CERESITA SA.* (En Línea) Curico-Chile (Doctoral dissertation, Universidad

de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Civil Industrial). 2005.[Consultab: 27 enero 2023  
] Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/1173/2/ASotoV.pdf>

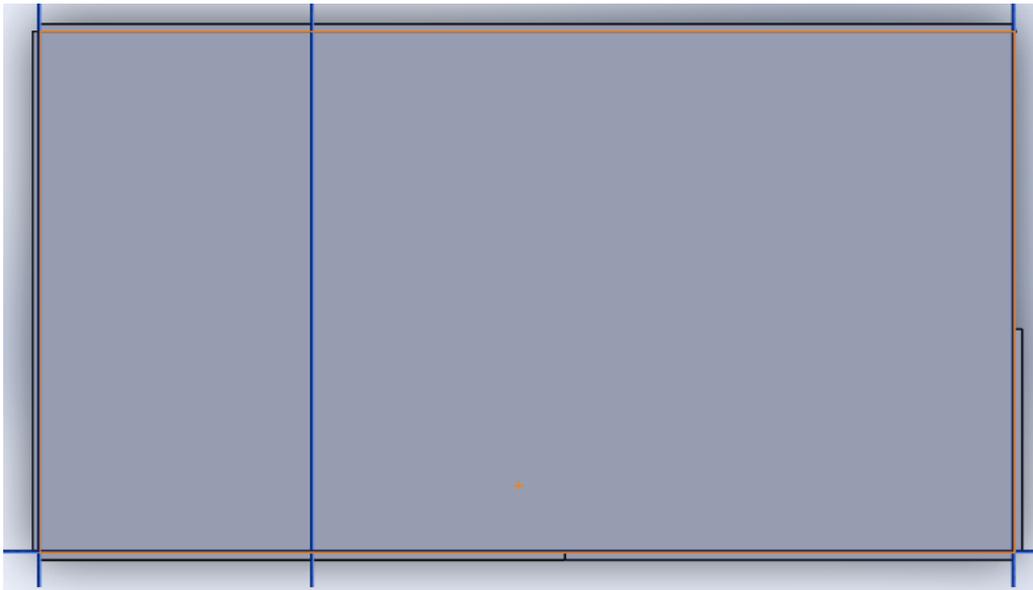
10. **VIDAL, A.; ARTURO, C.; VERDUGO, B. & ALEJANDRO, R.** Diseño de una red de aire comprimido para el nuevo edificio del Instituto Profesional Virginio Gómez. [En Línea ] Curico - Chile. 2017. [Consulta 14 enero 2023] en: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2395>

**ANEXOS**

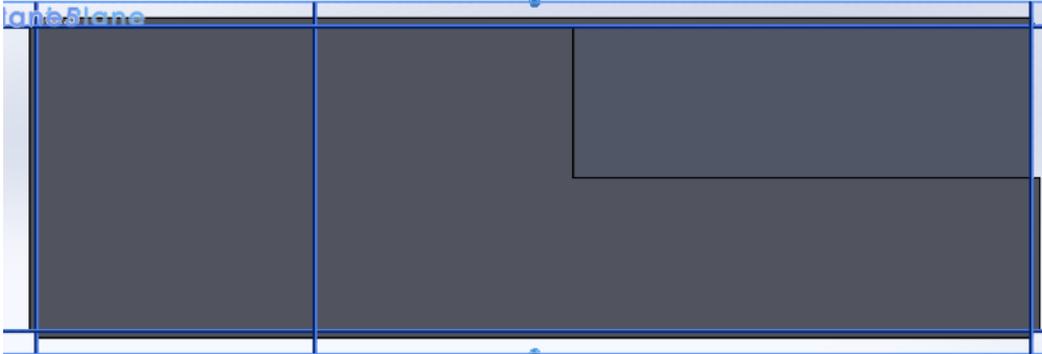
**ANEXO 1: PLANO DEL TALLER DE MAQUINARIA PESADA**



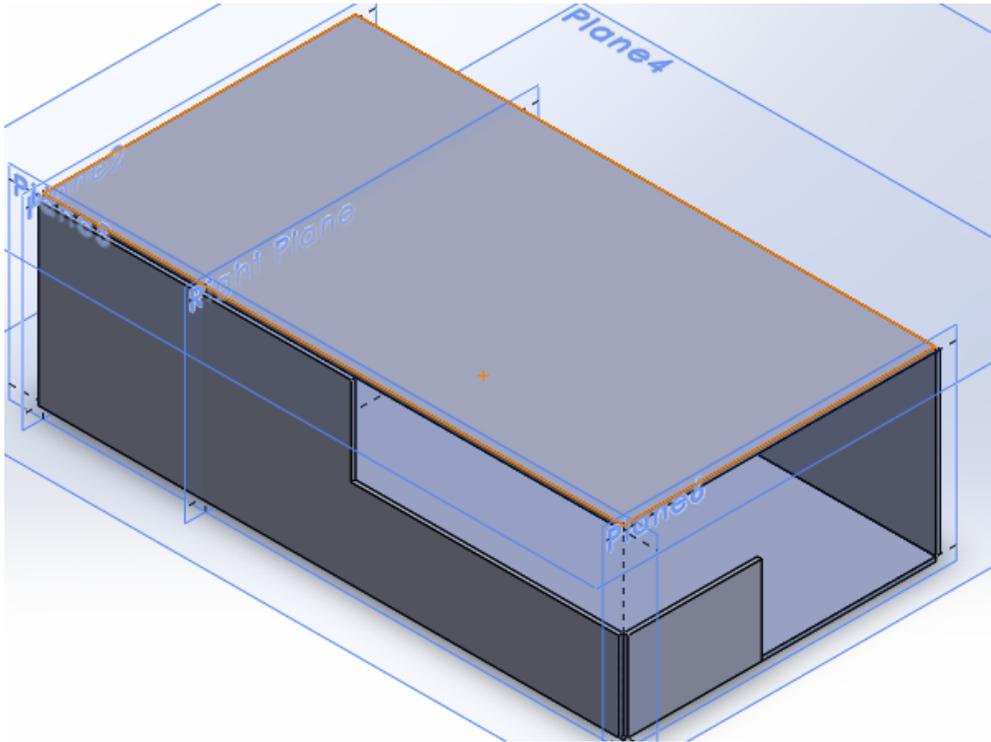
**Ilustración. A1:** Plano frontal del aula de Maquinaria Pesada



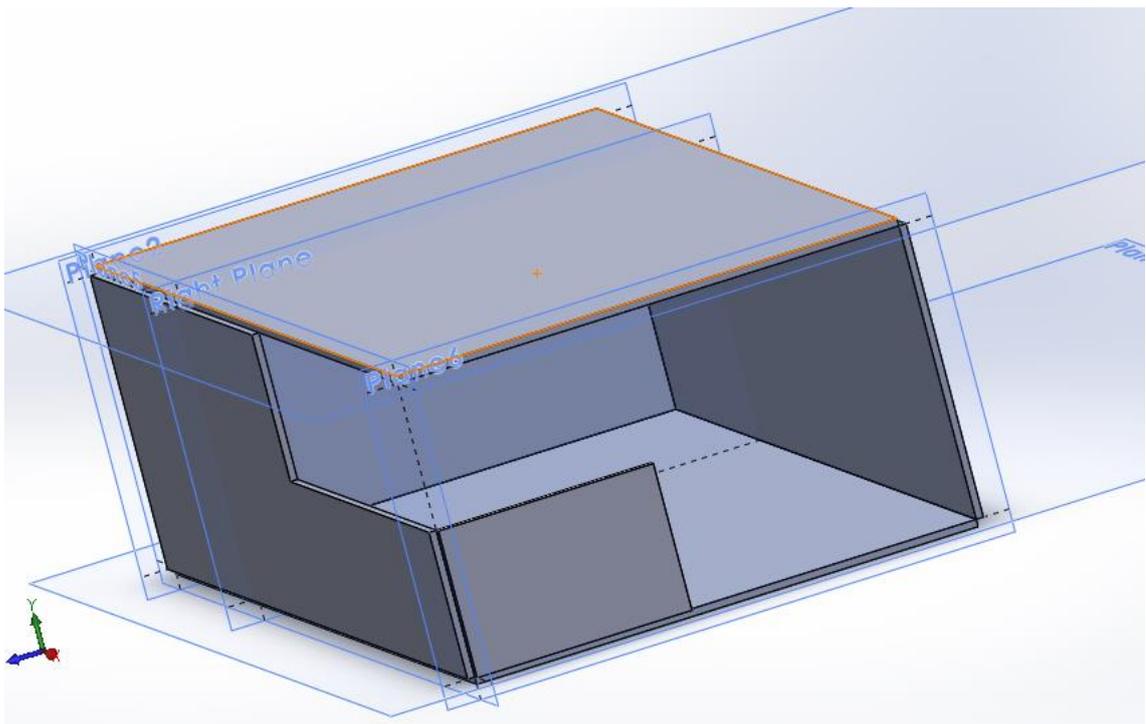
**Ilustración. A2:** Plano Posterior



**Ilustración. A3:** Plano Lateral Izquierdo

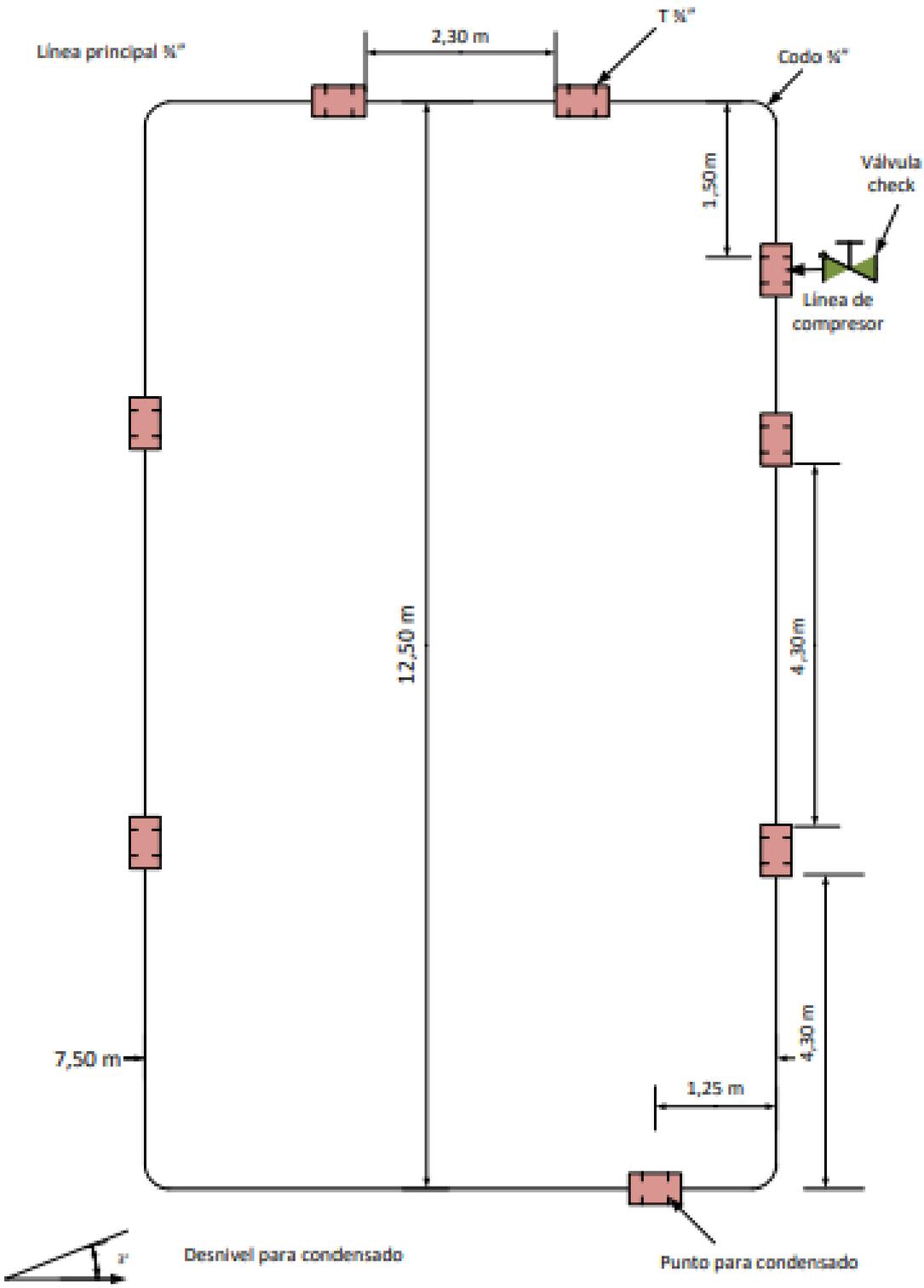


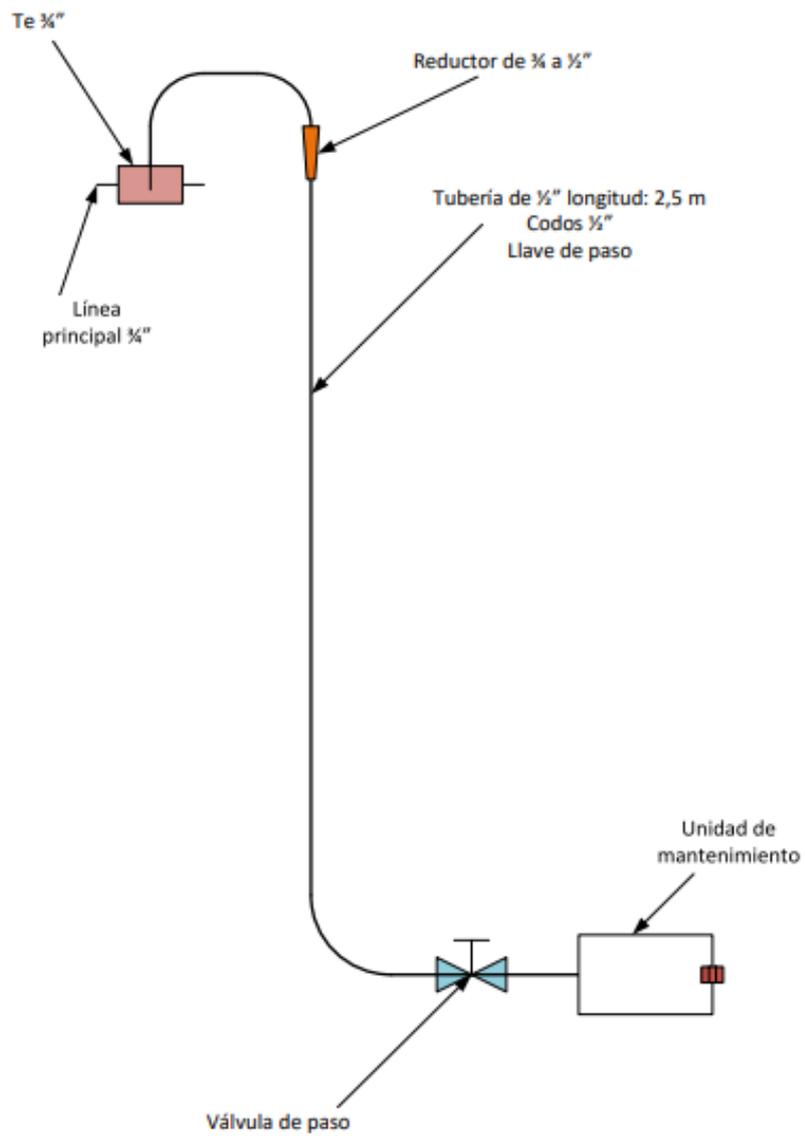
**Ilustración. A4:** Plano Isometrico



**Ilustración. A5:** Plano Isometrico 2

ANEXO 2: RED NEUMÁTICA



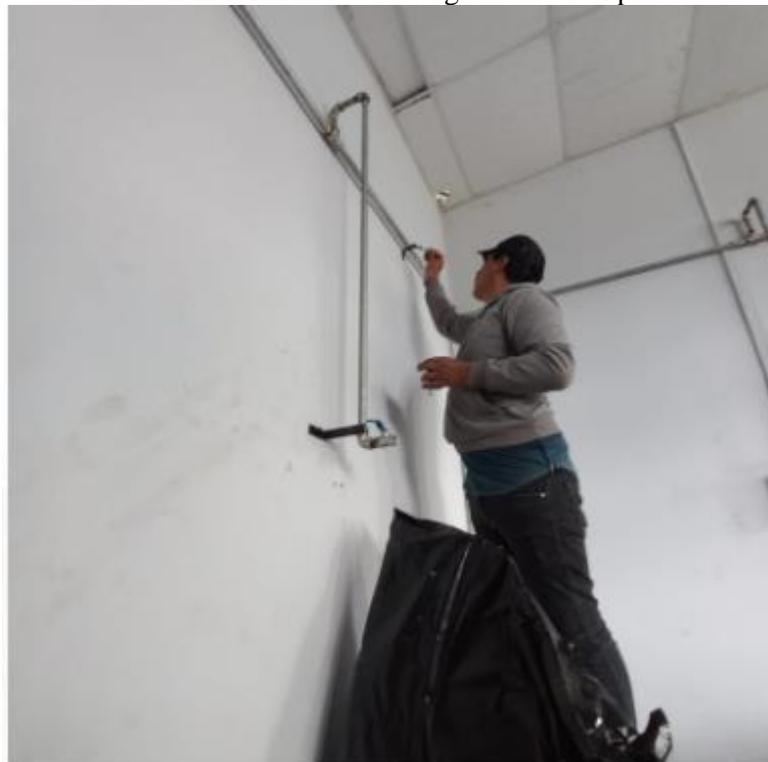


### ANEXO 3: PROCESO DE INSTALACIÓN

**Ilustración B-1.** Red neumática instalada en el taller de Maquinaria Pesada



**Ilustración B-2.** Red de descarga de aire comprimido



**Ilustración B-3.** Conexión de red principal a red de descarga



**Ilustración B-4.** Conexión de salida



**Ilustración B-5.** Vista general de instalación



**Ilustración B-6.** Roscado de tubería



**Ilustración B-7.** Equipo de roscado de tubería



**Ilustración B-8.** Tuberías de acero inoxidable



**Ilustración B-9.** Conexión de tubería



**Ilustración B-10.** Prueba de compresor





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 17/ 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Angel Fernando Apugllon Baño
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecanica
<b>Carrera:</b> Ingeniería Automotriz
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Automotriz
 <hr/> <p>Ing. Elvis Enrique Arguello <b>Director del Trabajo de Titulación</b></p>  <hr/> <p>Ing. Edgar Fabian Sánchez Carrión <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b></p>