

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA  
EL LABORATORIO DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS  
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE  
GROHMANN EN EL AÑO 2019**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Yhon René Mamani Quispe

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO**

TACNA – PERÚ

2021


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

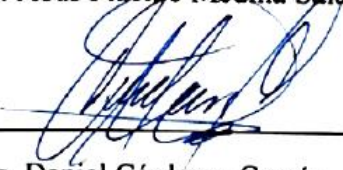
**Facultad de Ingeniería**


**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica**

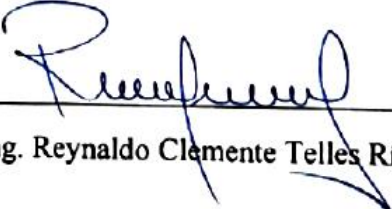
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA  
EL LABORATORIO DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS  
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE  
GROHMANN EN EL AÑO 2019**

Tesis sustentada por el Bachiller Yhon René Mamani Quispe, aprobado el 22 de enero de 2021, el Jurado Calificador estuvo integrado por:

PRESIDENTE :   
Dr. Jesús Plácido Medina Salas

SECRETARIO :   
Ing. Daniel Cárdenas García

VOCAL :   
MSc. Avelino Godofredo Pari Pinto

ASESOR :   
Ing. Reynaldo Clemente Telles Ríos

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Armando y Dominga, quienes confiaron en mí y que desde muy pequeño me formaron con valores fundamentales en mi vida como el respeto, perseverancia, lealtad y amor al prójimo. A mis hermanos y sobrinos que siempre estuvieron apoyando cada una de mis decisiones dándome aliento y celebrando cada uno de mis logros. A mi asesor por guiarme en buena dirección con el propósito de alcanzar con éxito el objetivo final.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios, quien me ha dado la vida y por estar conmigo en cada momento.

Al Ing. Reynaldo Téllez Ríos, por su calidad humana y profesional, por los valiosos aportes y consejos entregados durante esta investigación, que contribuyeron en forma importante a mi crecimiento personal y profesional.

Al Ing. Luis Beltran Quispe Candia, por su aporte profesional en la construcción de este proyecto.

A los docentes jurados, por sus valiosos aportes en el desarrollo de esta investigación.

Al director de la Escuela de Ingeniería Mecánica y a todas las personas que han depositado su confianza, por darme ánimos, por sus consejos.

## **CONTENIDO**

<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>CONTENIDO</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xix</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción del problema	23
1.2. Formulación del problema	25
1.2.1. Problema general	25
1.2.2. Problemas específicos	25
1.3. Justificación e importancia	26
1.3.1. Justificación teórica	26
1.3.2. Justificación práctica	26

1.3.3.	Justificación metodológica	27
1.4.	Alcances y limitaciones	27
1.5.	Objetivo	27
1.5.1.	Objetivo general	27
1.5.2.	Objetivos específicos	28
1.6.	Marco contextual	28
1.6.1.	Ubicación geográfica	28
1.6.2.	Características climatológicas	29

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes del estudio	30
2.1.1.	Antecedentes nacionales	30
2.1.2.	Antecedentes internacionales	31
2.2.	Bases teóricas	33
2.2.1.	Aire comprimido	33
2.2.1.1.	El aire	34
2.2.1.2.	Propiedades del aire	35
2.2.1.2.1.	Propiedades físicas del aire	35

2.2.1.2.2.	Propiedades termodinámicas del aire	37
2.2.1.2.3.	Unidades de medida	41
2.2.1.2.4.	Flujo a través de la tubería	41
2.2.1.3.	Características del aire comprimido	42
2.2.1.3.1.	Humedad del aire	42
2.2.1.3.2.	Contaminantes del aire	45
2.2.1.4.	Tratamiento del aire comprimido	46
2.2.1.4.1.	Separación del agua	50
2.2.1.4.2.	Secador del aire	50
2.2.1.4.3.	Filtros	55
2.2.1.4.4.	Reguladores de presión	59
2.2.1.4.5.	Lubricadores	61
2.2.1.4.6.	Tratamiento de aire en los puntos de consumo	61
2.2.1.4.7.	Enfriadores	63
2.2.1.5.	Importancia y aplicaciones del aire comprimido	65
2.2.2.	El sistema de aire comprimido	66
2.2.2.1.	Generación de aire comprimido	66
2.2.2.1.1.	Compresor	66
2.2.2.1.2.	Tipos de compresor	67
2.2.2.1.3.	Selección del compresor	77

2.2.2.2.	Red de aire comprimido	86
2.2.2.2.1.	Descripción general y elementos de una red	86
2.2.2.3.	Distribución de la red de aire comprimido	87
2.2.2.3.1.	Componentes de distribución de aire comprimido	93
2.2.2.4.	Dimensionamiento de la red de aire comprimido	95
2.2.2.4.1.	Presión de funcionamiento de la red	96
2.2.2.4.2.	Caudal necesario para la instalación	97
2.2.2.4.3.	Cálculo del caudal o volumen necesario	98
2.2.2.4.4.	Cálculo del diámetro de la tubería	102
2.2.2.4.5.	Selección del material de los tubos	107
2.2.2.4.6.	Especificación técnica de bridas y válvulas	113
2.3.	Definición de términos	116

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1.	Tipo y diseño de la investigación	117
3.1.1.	Tipo de investigación	117
3.1.2.	Nivel de investigación	117
3.1.3.	Diseño de investigación	118
3.2.	Población y muestra de estudio	118

3.2.1.	Población	118
3.2.2.	Muestra	119
3.3.	Variables	119
3.3.1.	Identificación de las variables	119
3.3.2.	Caracterización de las variables	120
3.4.	Técnicas e instrumentos de estudio	121
3.4.1.	Técnicas	121
3.4.2.	Análisis descriptivo	122
3.4.3.	Trabajo de campo	122
3.4.4.	Trabajo de gabinete	122
3.4.5.	Materiales y equipos	123
3.4.6.	Equipos informáticos del proceso de datos	123
3.5.	Procesamiento de datos	123

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

4.1.	Determinación del punto de rocío en la localidad	124
4.1.1.	Humedad relativa de la localidad	124
4.1.2.	Temperatura en la localidad	125
4.1.3.	Cálculo de la cantidad de agua	125

4.1.4.	Punto de rocío en la ciudad de Tacna	126
4.2.	Calidad de aire para la red	126
4.2.1.	Determinación de la calidad de aire para la red	127
4.3.	Presión de funcionamiento de la red	127
4.4.	Selección de la unidad de mantenimiento	128
4.5.	Trazado de la red de aire comprimido	130
4.6.	Cálculo del caudal para la red	130
4.6.1.	Consumo de equipos neumáticos	131
4.7.	Selección del compresor	134
4.8.	Cálculo del diámetro de la tubería	138
4.8.1.	Cálculo del diámetro interior del tubo principal	138
4.8.2.	Cálculo del diámetro interior de la tubería secundaria	142
4.8.3.	Cálculo del diámetro interior de la tubería de servicio	145
4.9.	Selección del material de tubo	150
4.10.	Suministro eléctrico	151

## **CAPÍTULO V**

### **PLAN DE MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO**

5.1.	Plan de mantenimiento de la red de aire comprimido	152
5.1.1.	Descripción y situación de la red de aire comprimido	152
5.1.2.	Instalación y ubicación del compresor	153
5.1.3.	Gestión de mantenimiento de la red de aire comprimido	156
5.1.3.1.	Política de mantenimiento al sistema de aire comprimido	156
5.1.3.2.	Metas del mantenimiento del sistema de aire comprimido	156
5.1.3.3.	Responsable del mantenimiento de la red	157
5.1.4.	Documentos para la gestión de mantenimiento	157
5.2.	Localización de fugas y control	160
5.3.	Recomendaciones de operación	162
5.3.1.	Pasos para la utilización del aire comprimido	162
5.3.2.	Protocolos de seguridad para el uso del aire comprimido	162
5.4.	Guía para el ahorro de energía en la red	163
5.4.1.	Sugerencias para ahorrar y controlar	165

## **CAPÍTULO VI**

### **ESTUDIO ECONÓMICO**

6.1.	Costos	167
6.1.1.	Costos directos	167
6.1.1.1.	Costos de mano de obra directa	169
6.1.2.	Costos indirectos	169
6.1.3.	Costo total del proyecto	170
<b>CONCLUSIONES</b>		171
<b>RECOMENDACIONES</b>		173
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		174
<b>ANEXOS</b>		178
<b>PLANOS</b>		200

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades termodinámicas del aire atmosférico	38
Tabla 2.	Presión de saturación en función de la temperatura	44
Tabla 3.	Presencia de contaminantes en el aire comprimido	46
Tabla 4.	Componentes de gases en el aire	47
Tabla 5.	Calidad de aire comprimido de acuerdo con el proceso según la norma ISO 8573-1	48
Tabla 6.	Características del aire según su aplicación	48
Tabla 7.	Contenido máximo de vapor de agua g/m <sup>3</sup>	50
Tabla 8.	Aplicaciones para una correcta elección de filtros	58
Tabla 9.	Parámetros en la selección de un compresor	78
Tabla 10.	Características de un compresor que influyen en su elección	79
Tabla 11.	Presión y temperatura estándar a diferentes alturas	81
Tabla 12.	Guía general de costo comparativo	82
Tabla 13.	Aplicaciones, ventajas y desventajas de las redes de distribución abierta y cerradas	92
Tabla 14.	Consumo medio de máquinas y herramientas con duración de la conexión del 100 %	98
Tabla 15.	Duración de conexión de unidades consumidoras	99

Tabla 16.	Factor de simultaneidad	100
Tabla 17.	Características técnicas de tubos para redes de aire	109
Tabla 18.	Ventajas y desventajas de tubos neumáticos de metal y material sintético	110
Tabla 19.	Diámetros y espesor de tuberías de acero	111
Tabla 20.	Soportes de tuberías	112
Tabla 21.	Válvulas manuales de cierre	115
Tabla 22.	Calidad de aire para los laboratorios	127
Tabla 23.	Consumo de equipos neumáticos	131
Tabla 24.	Factor de uso	132
Tabla 25.	Consumo de volumen medio utilizado	133
Tabla 26.	Características del compresor tipo pistón y tornillo	135
Tabla 27.	Ventajas del compresor seleccionado	136
Tabla 28.	Características del compresor seleccionado	137
Tabla 29.	Longitudes equivalentes de los accesorios (tub. primaria)	140
Tabla 30.	Longitudes equivalentes de los accesorios (tub. secundaria)	143
Tabla 31.	Longitudes equivalentes de los accesorios (tub. servicio)	146
Tabla 32.	Posibles materiales seleccionados	150
Tabla 33.	Código de los equipos que conforman la red	158
Tabla 34.	Medidas para el ahorro de energía	164

Tabla 35.	Pérdida de presión en equipos	165
Tabla 36.	Medidas de control en la red de tubería	166
Tabla 37.	Costos de accesorios	167
Tabla 38.	Costos de materiales y equipos	168
Tabla 39.	Costo de mano y obra	169
Tabla 40.	Costos de materiales indirectos	169
Tabla 41.	Costo total del proyecto	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del proyecto	29
Figura 2.	Configuración general de un sistema de aire comprimido	34
Figura 3.	Diagrama de Mollier	45
Figura 4.	Método de secado	51
Figura 5.	Sistema de secado por absorción	52
Figura 6.	Sistema de secado por adsorción	53
Figura 7.	Sistema de secado por enfriamiento	54
Figura 8.	Secador de membrana	55
Figura 9.	Partes de un filtro	56
Figura 10.	Esquema para la ubicación de filtros en función de sus aplicaciones	57
Figura 11.	Regulador de presión	59
Figura 12.	Regulador con taladro de escape y sin taladro de escape	60
Figura 13.	Lubricadores	61
Figura 14.	Unidad de mantenimiento (FRL)	62
Figura 15.	Distintos arreglos de unidades de mantenimiento	62
Figura 16.	Diferentes post-enfriadores y filtros separadores	63
Figura 17.	Enfriador aire - agua	63

Figura 18.	Enfriador aire - aire	64
Figura 19.	Arreglo del enfriador y el separador de la humedad	64
Figura 20.	Clasificación de los compresores	67
Figura 21.	Compresor de lóbulos rectos	68
Figura 22.	Compresor de tornillos	69
Figura 23.	Diagrama de un compresor de tornillo exento de aceite	70
Figura 24.	Diagrama de un compresor de tornillo con aceite	71
Figura 25.	Compresor de paletas	72
Figura 26.	Compresor de pistón	74
Figura 27.	Compresor de diafragma	75
Figura 28.	Compresor centrífugo	76
Figura 29.	Vista de compresores centrífugos de simple y doble acción	76
Figura 30.	Compresor axial	77
Figura 31.	Componentes de una red de aire comprimido	87
Figura 32.	Red de distribución abierta	88
Figura 33.	Inclinación en una red de aire comprimido	89
Figura 34.	Forma de toma de presión y toma de purga	90
Figura 35.	Curvatura en una red de distribución	90
Figura 36.	Red de distribución cerrada	91
Figura 37.	Tuberías para aire comprimido	93

Figura 38.	Nomograma para determinar la pérdida de presión en tuberías (presión = presión de trabajo)	103
Figura 39.	Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios)	104
Figura 40.	Nomograma para determinar tuberías para aire comprimido	106
Figura 41.	Admisión de aire en el cuarto de máquinas y sótano	154
Figura 42.	Toma de aire exterior	154
Figura 43.	Ubicación para toma de aire exterior	154
Figura 44.	Ubicación del área del compresor	155
Figura 45.	Distribución de las fugas en la red de aire comprimido	161

## RESUMEN

Se presenta el proyecto de diseño de un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, se realiza con la finalidad de que en el laboratorio se trabaje con un óptimo funcionamiento de aire comprimido, que abastezca todos los trabajos que se realicen en el lugar y para futuras ampliaciones, el cual fue determinado en base a estudios descriptivos y cálculos, con un caudal de suministro, presión y calidad de aire, para un funcionamiento óptimo.

Según al estudio realizado y en base al uso de los equipos en el laboratorio se seleccionó la calidad de aire según ISO 8573-1 de clase 3-4-3, el cual cuenta con un punto de rocío de 290 K (17 °C), y el caudal de consumo calculado para el sistema de aire comprimido es de 2,87 m<sup>3</sup>/min (101 cfm), y con el objetivo de satisfacer la demanda que se requiere en el laboratorio de máquinas y herramientas, se usó un compresor rotativo tipo tornillo modelo AS 25, con una potencia nominal de 18,5 kW (25 HP) y de tal forma logrando una presión máxima de 11 bar (160 psig) y un caudal de 3,40 m<sup>3</sup>/min (120 cfm) a 8,5 bar (123 psi). También con un tanque vertical modelo T11 de 350 litros.

Dicho sistema tiene el siguiente equipamiento: un secador refrigerativo modelo KRYOSEC TCH 33, un pre filtro (para aceite extrafino) modelo F46KD y un post filtro modelo F46KE (para polvo y partículas), sin embargo, el material seleccionado de las tuberías es de acero galvanizado, fabricado bajo la norma ASTM A53 y ASTM A123 de SCH 40 y que se seleccionó en base al cálculo del diámetro interno que se hizo para la tubería principal, es de 31,81 mm (1 1/4 pulg) de diámetro, trazando un anillo abierto en la red viene la tubería secundaria de 24,40 mm (1 pulg), y de ella la tubería de servicio de 19,05 mm (3/4 pulg).

Las medidas que se proponen en el presente diseño para el ahorro de energía de la red, son con el único propósito de aprovechar al máximo el sistema de aire comprimido.

Se concluye que el sistema de aire comprimido es sumamente posible de realizarse y servirá para mejorar la formación profesional de los estudiantes, ya que se diseña en base a las recomendaciones técnicas, como el clima, ubicación, espacio del lugar, facilidades de instalación óptimas como en las tomas de consumo. La distribución de la red se hizo con el objetivo de alcanzar un buen funcionamiento.

***Palabras clave:*** Diseño, Sistema de aire comprimido.

## **ABSTRACT**

The project for the design of a compressed air system for the Laboratory of Machines and Tools of the School of Mechanical Engineering of the National University Jorge Basadre Grohmann is presented, it is carried out with the purpose of working in the laboratory with optimal operation of compressed air, which supplies all the work carried out on site and for future extensions, which was determined based on descriptive studies and calculations, with a supply flow, pressure and air quality, for optimal operation.

According to the study carried out and based on the use of the equipment in the laboratory, the air quality was selected according to ISO 8573-1 of class 3-4-3, which has a dew point of 290 K (17 °C), and the calculated consumption flow for the compressed air system is 2.87 m<sup>3</sup> / min (101 cfm), and in order to satisfy the demand that is required in the machinery and tools laboratory, a rotary compressor type screw model AS 25, with a nominal power of 18.5 kW (25 HP) and thus achieving a maximum pressure of 11 bar (160 psig) and a flow rate of 3.40 m<sup>3</sup> / min (120 cfm) at 8, 5 bar (123 psi). Also with a vertical tank model T11 of 350 liters.

This system has the following equipment: a KRYOSEC TCH 33 refrigeration dryer, a pre-filter (for extra-fine oil), model F46KD, and a post-filter, model F46KE (for dust and particles), however, the material selected for the pipes is steel. Galvanized, manufactured under ASTM A53 and ASTM A123 of SCH 40 and which was selected based on the internal diameter calculation that was made for the main pipe, is 31.81 mm (1¼ in.) in diameter, tracing An open ring in the network comes the 1 in. (24.40 mm) branch pipe, and from it the ¾ in. (19.05 mm) service pipe.

The measures proposed in the present design to save energy from the network are for the sole purpose of making the most of the compressed air system.

It is concluded that the compressed air system is highly possible to carry out and will serve to improve the professional training of students, since it is designed based on technical recommendations, such as climate, location, space of the place, optimal installation facilities such as in consumer outlets. The distribution of the network was made with the aim of achieving good operation.

**Keywords:** Design, Compressed air system.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día en el campo de las industrias se hace el uso del sistema de aire comprimido, que son fuentes de energía para trabajar con elementos neumáticos y que se aprovecha las ventajas que proporciona al permitir realizar tareas que se puedan emprender en cualquier industria de forma más eficiente y rápida.

Así mismo, el sistema de aire comprimido se usa en las instituciones educativas de formación de profesionales, como en el Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (SENATI), el Instituto de Educación Superior Público “Francisco de Paula Gonzales Vigil” (IESP VIGIL) y universidades de otros departamentos, sin embargo, la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) no cuenta con este sistema de aire comprimido y con este proyecto contaría con una propuesta de instalación de sistema de aire comprimido, siendo la primera casa de estudio de formación de profesionales en nuestra ciudad.

En tal sentido, en vista de la falta de este sistema de aire comprimido se plantea la propuesta, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNJBG”, que tiene como

finalidad de proporcionar un laboratorio de estudio, de tareas y conocimiento del uso de este sistema en base a ensayos, bancos de pruebas para los estudiantes.

Teniendo en cuenta el lugar de la instalación, se debe considerar los siguientes factores: el clima, la calidad de aire, la carga, la presión y las condiciones de la infraestructura actual del laboratorio, finalmente, se procede al cálculo correspondiente para la selección de compresor, tuberías y accesorios que involucren para un funcionamiento óptimo en la realización de tareas en el laboratorio de máquinas y herramientas.

Por otro lado, para el diseño del sistema de aire comprimido se debe de tener en cuenta el problema que se plantea, el uso que se dará y saber predecir el comportamiento del sistema que se está estudiando. Es importante seguir haciendo referencia a manuales, bibliografía y catálogos de compañías extranjeras y nacionales que proporcionan información de marco teórico, de esta manera se pretende que este trabajo sirva también de consulta para proyectos afines para la mejora, ya que el presente trabajo es una propuesta de diseño de un sistema de aire comprimido y servirá de estudio para analizar y determinar la mejor solución del problema.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema**

Una de las carreras profesionales de mayor formación requeridas por organizaciones que hacen uso de máquinas y equipos en actividades especializadas es la Ingeniería Mecánica, que es una profesión capaz de experimentar, diseñar e implementar sistemas mecánicos que permitan la optimización y automatización de maquinarias y procesos, asimismo, es fundamental para la gestión y desarrollo de proyectos que den respuesta a diferentes actividades productivas como de servicios.

Una de las entidades en Tacna que forma ingenieros mecánicos es la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, quien cuenta con una serie de servicios educativos en esta rama, pero que presenta deficiencias a nivel del uso de laboratorios especializados para la formación profesional en este campo.

Se ha identificado que el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UNJBG, no cuenta con sistemas de aire comprimido que permitan facilitar la realización de diferentes actividades a favor de la formación profesional de sus estudiantes, los mismos que no contando con ello, les resta la competitividad para lograr una correcta adecuación al mercado y la hace vulnerable frente a otras instituciones como SENATI, IESP VIGIL y otras universidades.

Dado ello, la Escuela de Ingeniería Mecánica, con miras a mejorar la formación profesional de sus estudiantes, considere el mejoramiento de sus ambientes de taller, y con ello, también se contribuya al logro de los indicadores de calidad exigibles por las entidades acreditadoras a nivel nacional, considerando que una de las metas de la UNJBG es lograr la acreditación para cada una de las carreras.

A partir de lo indicado, la presente tesis propone el Diseño de un Sistema de Aire Comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UNJBG, estableciendo las características técnicas y elementos necesarios para su correcta adecuación, solucionando de este modo la deficiencia descritas en los párrafos anteriores.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Es posible proponer el diseño de un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a.** ¿Cuál será la propuesta de la composición del sistema de suministro para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?
- b.** ¿Cuál será la composición propuesta del sistema de distribución para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

La investigación permitirá realizar una ampliación de las teorías relacionadas a sistemas de aire comprimido, realizando para ello un análisis y descripción de los diferentes postulados y teorías, las mismas que serán contrastadas con la realidad problemática.

#### **1.3.2. Justificación práctica**

La investigación propone el diseño de un sistema de aire comprimido, que permita brindar solución a los diferentes procesos que se desarrollan en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, logrando brindar mayor efectividad en su ejecución, contribuyendo a una mejor experimentación de los procesos de formación profesional.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

La propuesta de diseño de un sistema de aire comprimido podrá servir de referencia para futuras investigaciones que deseen abordar problemas análogos, ofreciendo una guía o ruta metodológica para la implementación.

### **1.4. Alcances y limitaciones**

- Información confidencial por parte de las empresas que comercializan los equipos para el sistema de aire comprimido.
- Acceso restringido a los laboratorios en determinados días.
- Presupuesto limitado.

### **1.5. Objetivo**

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

Proponer el diseño de un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a.** Determinar la composición del sistema de suministro para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.
- b.** Determinar la composición del sistema de distribución para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.

## **1.6. Marco contextual**

### **1.6.1. Ubicación geográfica**

El proyecto se enfoca en las instalaciones de la UNJBG, en la Facultad de Ingeniería de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas, la cual está ubicada en la Avenida Miraflores S/N, en la ciudad de Tacna. Se adjunta el PLANO 1 (distribución de facultades de la UNJBG).



Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto

Fuente: Google Maps, 2018.

### 1.6.2. Características climatológicas

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 284 °K (11 °C) a 300 °K (27 °C) y rara vez baja a menos de 282 °K (9 °C) o sube a más de 281 °K (28 °C). Y en cuanto a la humedad relativa esta entre 75 % y 80 %, cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. Por lo tanto, se puede decir que la temperatura promedio es de 295 °K (22 °C), según el Anexo A.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

Palma (2018), presentó la tesis titulada “Rediseño del sistema de aire comprimido para evitar residuos de aceite en la empresa Camposol S.A.”, para optar por el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Trujillo.

Se realizó con la finalidad de rediseñar la distribución y tratamiento de aire comprimido de la empresa. con el propósito de evitar los residuos de aceite. Los factores ambientales fueron humedad relativa 85,3 % a 22,4 °C y 1 bar(a).

Se corrigió el diseño y equipos que forman parte de la red de aire comprimido, se comenzó en el compresor hasta el punto final de consumo, por lo cual se hizo utilidad de normas y catálogos. también la calidad que se necesitó de aire es de 2.2.1.

En este estudio se dedujo el procedimiento matemático con las bases del Instituto del Aire Comprimido y Gas (CAGI) las respectivas concentraciones de aceite por compresor obteniendo como resultado 598,61 ml/semana y 0,1555 mg/m<sup>3</sup>, en las máquinas compresoras de los números 5 y 6. Se escogió el Festo como unidad de mantenimiento.

En cuanto al diagnóstico final se pudo concluir que los compresores más óptimos son el nro. 2, nro. 3 y nro. 7 unido al secador DMD-180, como también la falta de un filtro de carbón.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Toasa (2014), presentó la tesis titulada “Diseño e implementación de la red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica - Espoch”, para optar el título como Ingeniero Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se realizó el diseño y la implementación de una eficiente red de aire comprimido del laboratorio de automatización y neumática en la escuela de facultad de mecánica – Espoch, con la finalidad de brindar buenos laboratorios de aire comprimido como fuente de energía y con una presión que abastezca conforme a los procedimientos didácticos en cada módulo, el flujo de aire también será requerido para posibles ampliaciones, y accesorios para la calidad de aire.

La selección del diámetro de tubería fue en dos procesos; el primero fue empleando una ecuación para hallar un diámetro ficticio usando únicamente la longitud de dicha tubería, para luego partir de este diámetro y poder hallar el diámetro que presente máximo 0,1 bar en pérdidas de presión usando solo longitud equivalente presentada producto de la fricción de los accesorios a más de la distancia del tramo.

Luego de comprobar se garantiza el uso correcto y el funcionamiento de red, y así quede todo listo para el uso en las actividades. se sugiere continuar con los pasos de operación con el propósito de que no se presente ningún accidente en la red.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Aire comprimido**

Por otro lado, Toasa (2014), comenta lo siguiente, el aire comprimido es aire atmosférico sometido a una determinada presión y físicamente es incoloro, inodoro e insípido, el cual se usa como una fuente de energía, que al hacer uso de ello brinda para trabajar con equipos neumáticos, para trabajar de una forma más eficiente en las tareas.

Por otra parte, el sistema de aire comprimido se puede dividir en dos partes: el suministro y distribución o demanda. (Paredes, 2016)

- **Suministro:** Conocido como el paquete de compresión y está compuesta por el motor, compresor, depósito y equipos de tratamiento como controladores, filtros, enfriadores, secadores, tanque de almacenamiento y más elementos.
- **Demanda:** Compuesta por las secciones de líneas de distribución principal, cabezal principal, mangueras, reguladores de presión, válvulas y más.

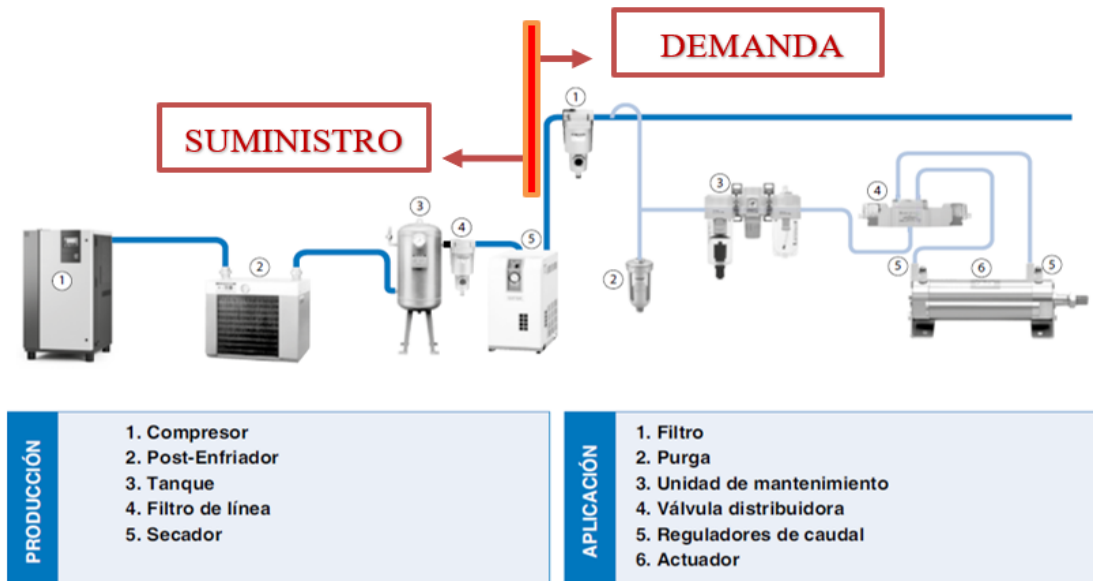


Figura 2. Configuración general de un sistema de aire comprimido

Fuente: Paredes, 2016.

### 2.2.1.1. El aire

- **El aire en general:** Chérrez (2010), dice que la composición del aire está en base a la altitud , ya que a nivel de mar, el aire seco está formado por Ni 78,03 %, O 20,90 %, Ar 0,03 %; el 0,04 % lo complementa otros gases como el vapor del agua y el dióxido de carbono. También dice que el aire está un poco contaminado con partículas sólidas como el polvo, arena, cristales de sal y que el grado de contaminación varia de la zona del lugar, mayor y menor altitud.

### **2.2.1.2. Propiedades del aire**

Según Chérrez (2010), propiedades del aire que se dan por su composición:

- El aire también es materia y es fuente de mucho oxígeno.
- El aire ocupa un volumen determinado y tiene masa.
- El aire desempeña presión en diferentes direcciones.
- La presión que desempeña se denomina presión atmosférica y si fuese un sitio específico depende de la temperatura, altitud y proximidad con el mar.
- El aire también es fuente de más gases principales para la vida.
- El aire trabaja como un filtro de la emisión ultravioleta que viene del sol.

#### **2.2.1.2.1. Propiedades físicas del aire**

Según, Torres (2006), debemos de saber que el aire a una temperatura entre 273 °K a 473 °K (0 °C a 200 °C) y a una presión de hasta 30 bar se comporta casi como un gas ideal y consta de las siguientes propiedades físicas.

- **Flujo:** Se denomina flujo al movimiento de los líquidos y de los gases, ya que estos flujos se diferencian en la medida que no se pueden comprimir (volumen constante).
  - **Caudal:** Es la cantidad de fluido que pasa por una determinada sección de un conducto por unidad de tiempo. Existen dos formas de expresar el caudal.
  - **Presión:** La presión es una fuerza normal ejercida por unidad de área. Existen diferentes tipos de presión: absoluta, manométrica, atmosférica y vacío.
- **Presión absoluta:** También llamado presión real, toma como base el cero absoluto, se utiliza para cálculos teóricos.
  - **Presión vacía:** Es aquella que se encuentra por debajo de la atmosférica o también cuando la presión manométrica es negativa.
  - **Presión atmosférica:** También llamado barométrica, es la presión de una columna de mercurio de 760 mmHg de altura a nivel del mar sobre cualquier punto de la tierra. El valor de la atmósfera es de  $1,033 \text{ kg/cm}^2$  (14,69 psi).
  - **Presión manométrica:** También llamado presión relativa, es cuando se encuentra el aire comprimido en el interior de un recipiente, y es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

- **Peso específico:** Para el aire =  $1,293 \text{ kg/m}^3$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera de presión.
- **Volumen específico:** Para el aire =  $0,773 \text{ m}^3/\text{kg}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera.
- **Temperatura absoluta:** Esta temperatura se define teniendo como base el cero absoluto con un valor de  $-459,67 \text{ }^\circ\text{F}$  o  $-27,15 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- **Calor:** Es cuando la energía provoca variaciones en algunas propiedades físicas de los cuerpos.
- **Altitud:** La densidad y la presión absoluta del aire es menor a mayor altitud.

#### 2.2.1.2.2. Propiedades termodinámicas del aire

Martínez (2018), indica algunas de las propiedades termodinámicas del aire, pero varían en función de factores como altitud y están en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

*Propiedades termodinámicas del aire atmosférico*

Propiedad	Unidad	Valor
Masa molar M	kg/kmol	28,970
Constante de gas R	Kj/kg.°k	0,287
Presión de punto crítico	Mpa	3,770
Volumen de punto crítico	m <sup>3</sup> /kmol	0,088
Calor específico a presión constante Cp a 300 °K	Kj/kg.°k	1,005
Calor específico a volumen constante Cv a 300 °K	Kj/kg.°k	0,718

Fuente: Martínez, 2018.

- **Proceso isobárico:** Es aquel que se realiza a presión constante.

$$T_2 - T_1 = T_1(V_2/V_1 - 1) \quad [1]$$

- **Proceso isocórico:** Aquel que se realiza a volumen constante.

$$T_2 - T_1 = T_1(P_2/P_1 - 1) \quad [2]$$

- **Proceso isotérmico:** Aquel que se verifica a temperatura constante.

$$P_2 - P_1 = P_1*(V_1/V_2 - 1) \quad [3]$$

- **Proceso isoentrópico:** Es donde la entropía permanece constante, y ella mide el desorden molecular, el proceso es adiabático.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1^K}{V_2^K} = \frac{T_2^{\frac{K}{K-1}}}{T_1^{\frac{K}{K-1}}} \quad [4]$$

Donde:

P: Presión absoluta (Pa)

V: Volumen (m<sup>3</sup>)

T: Temperatura absoluta (K)

k = c<sub>p</sub>/c<sub>v</sub>: Exponente isoentrópico

- **Proceso politrópico:** Denominación general que engloba a los procesos de expansión y compresión. En el isentrópico ocurre todo lo contrario.

$$P \cdot V^n = \text{Constante} \quad [5]$$

Para n = 0, proceso isobárico

Para n = 1, proceso isotérmico

Para n = k, proceso isoentrópico

Para n = ∞, proceso isocórico

- **Ley de los gases perfectos:** Características fundamentales de los gases.

**Ley de Boyle-Mariotte:** Constante la temperatura, la presión de un gas es inversamente proporcional a su volumen.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = Cte \quad [6]$$

**La Ley de Charle's:** Constante la presión. el volumen de una determinada cantidad de gas varía proporcionalmente a la temperatura.

$$V_2 \cdot T_1 = V_1 \cdot T_2 \quad [7]$$

**Ley de Gay-Lussac:** Constante el volumen, proceso isocórico.

$$P_1 \cdot T_2 = P_2 \cdot T_1 \quad [8]$$

### 2.2.1.2.3. Unidades de medida

- **Presión:** La unidad de presión según el SI, es el  $N/m^2$ , que recibe el nombre de Pascal, la unidad más empleada es el bar.
- **Unidades de caudal:** Caudal másico se expresa en kg/s y el volumétrico en  $m^3/s$ .
- **Escalas termométricas:** Tipos de escalas termométricas: Celsius, Fahrenheit y Kelvin.

### 2.2.1.2.4. Flujo a través de tuberías

El número de Reynolds es adimensional (inercia y la fricción).

$$Re = D * w * \frac{\rho}{\mu} \quad [9]$$

Donde:

D: Dimensión (m)

w: Velocidad media (m/s)

$\rho$ : Densidad media del ( $kg/m^3$ )

$\mu$ : Viscosidad dinámica (Pa\*s)

### 2.2.1.3. Características del aire comprimido

#### 2.2.1.3.1. Humedad del aire

Mejía (2012), señala que puede examinarse el aire como una combinación de aire seco y vapor de agua. Se llama aire húmedo si el aire contiene vapor de agua, el cual puede cambiar de acuerdo a los límites.

- **Humedad relativa:** Es el grado de humedad presente en el aire ( $H_{rel}$ ), es la conexión con el contenido real de vaporización de agua y el contenido máximo de vaporización de agua que está en el aire (estado de saturación).

$$H_{rel} = \frac{\text{Humedad absoluta del aire}(f)}{\text{Cantidad de saturacion}(f_{max})} * 100 \quad [10]$$

Donde:

F : Masa de vapor de agua que está contenida en el aire. ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

F<sub>máx</sub> : Máxima masa de vapor que el aire puede llegar a contener ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

- **Punto de saturación:** Es el sitio en que el aire retiene casi toda la vaporización de agua al 100 % de humedad relativamente.
- **Condensación:** Se dice así al cambio de estado de vapor de agua a líquido.
- **Punto de rocío:** Según Toasa (2014), llamado también punto condensación, y es la temperatura a la cual tiene lugar la condensación. Esta saturación corresponde a una humedad relativa del 100 %.
- **Cálculo del punto de rocío:** Se recurre al diagrama de Mollier, no obstante, antes se debe conocer el contenido de agua del aire húmedo.

$$x = 0,622 * \frac{H_{rel} * P_s}{P - H_{rel} * P_s} * 10^3 \text{ en g/kg} \quad [11]$$

Donde:

$p$  = Presión absoluta en bar

$H_{rel}$  = Humedad relativa del aire ( $H_{rel}=0$  hasta 1,0)

$p_s$  = Presión de saturación en bar

Para determinar  $p_s$  del vapor de agua, se puede hallar en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2

*Presión de saturación en función de la temperatura*

Temp (°C)	Ps (mbar)	Temp (°C)	Ps (mbar)	Temp (°C)	Ps (mbar)
-20	1,029	+2	7,055	+24	29,82
-18	1,247	+4	8,129	+26	33,60
-16	1,504	+6	9,345	+28	37,78
-14	1,809	+8	10,70	+30	42,41
-12	2,169	+10	12,70	+32	47,53
-10	2,594	+12	14,01	+34	53,18
-8	3,094	+14	15,97	+36	59,40
-6	4,681	+16	18,17	+38	66,24
-4	4,368	+18	20,62		
-2	5,172	+20	23,37		
0	6,108	+22	26,42		

Fuente: Hesse, 2002.

Ya una vez calculado el contenido de agua se puede hallar el punto de rocío haciendo uso del Diagrama de Mollier representado en la Figura 3.

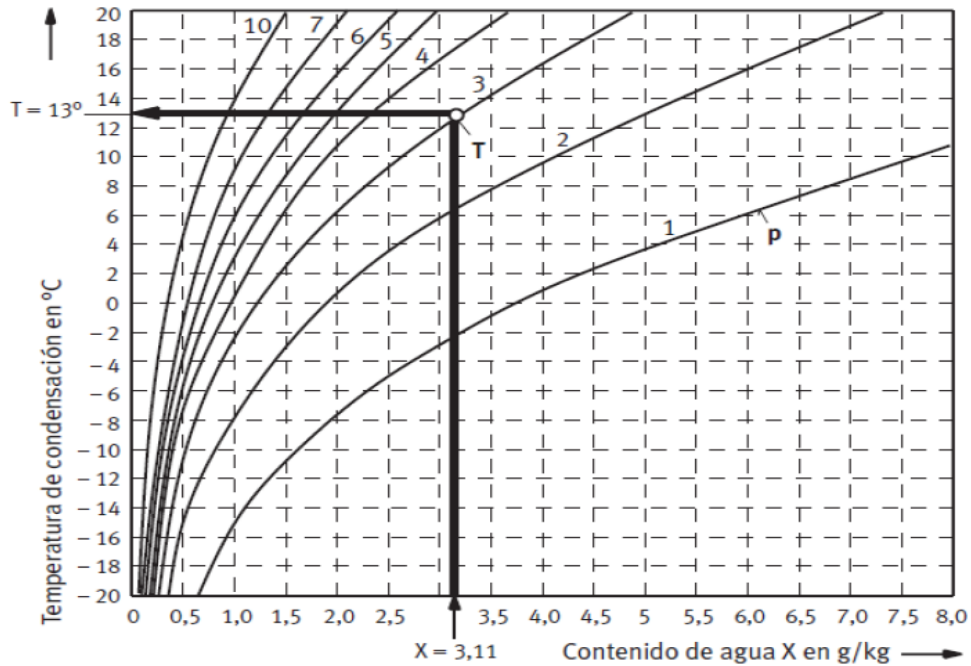


Figura 3. Diagrama de Mollier

Fuente: Hesse, 2002.

### 2.2.1.3.2. Contaminantes del aire

Según Martínez (2018), indica que, en las más grandes ciudades y zonas industriales, la calidad de aire se ve peligrosamente agravada por elementos contaminantes a causa de la tarea humana y de forma natural como el polen, polvo y bacterias, el cual ha creado mecanismos para así tener un aire comprimido muy óptima, en la Tabla 3 se menciona los contaminantes en el aire comprimido.

Tabla 3

*Presencia de contaminantes en el aire comprimido*

Contaminantes	Procedencia	Concentración
Partículas solidas	Atmosférica	140 x 10 <sup>6</sup> kg/m <sup>3</sup>
Carbón	Combustión	10 mg/m <sup>3</sup>
Agua	Atmosférica	11 gr/m <sup>3</sup>
Oxido	Cañería	4 mg/m <sup>3</sup>
Aceite	Lubricación	5 a 50 mg/m <sup>3</sup>
Aceite – agua (emulsión)	Compresión	10 gr/m <sup>3</sup>
Vapor de aceite	Compresión	0,5 gr/m <sup>3</sup>
Micro organismos	Atmosférica	3800 m <sup>3</sup>
hidrocarburos	Atmosférica	0,5 mg/m <sup>3</sup>

Fuente: Chérrez, 2010.

#### **2.2.1.4. Tratamiento del aire comprimido**

Toasa (2014), el aire comprimido es una fuente de energía muy económico por las cantidades que hay en la atmosfera, pero puede ser mucho más caro que la electricidad, tomando en cuenta el tratamiento e instalación. El tratamiento reduce las sustancias malignas formadas como el agua, partículas (óxido), aceite procedente de la lubricación del compresor que además incrementa su vida útil y calidad. En la Tabla 4 se describe los componentes de gases en el aire.

Tabla 4

*Componentes de gases en el aire*

Componente	Porcentaje en volumen	Porcentaje en masa
Nitrógeno	78,09	75,51
Oxígeno	20,95	23,15
Argón	0,93	1,28
Dióxido de carbono	0,03	0,046
Neón	0,0018	0,00125
Helio	0,00052	0,000072
Metano	0,00015	0,000094
Criptón	0,0001	0,00029
Monóxido de carbono	0,00001	0,00002
Oxido de nitroso	0,00005	0,00008
Hidrogeno	0,00005	0,0000035
Ozono	0,00004	0,000007
Xenón	0,000008	0,000036
Dióxido de nitrógeno	0,0000001	0,0000002
Yodo	$2 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-10}$
Radón	$6 \times 10^{-14}$	$5 \times 10^{-17}$

Fuente: Carnicer, 1994.

- **Calidad:** Tendrá que ser tan limpio como el proceso lo demanda, para ello debe instalarse un sistema de tratamiento, según la norma DIN ISO 8573-1, en ella están los contaminantes permitidos en procesos industriales. (Kaeser, 2010).

Tabla 5

*Calidad de aire comprimido de acuerdo con el proceso según la norma ISO 8573-1*

Clase	Sólido mg/m <sup>3</sup>	Sólidos µm	H <sub>2</sub> O (mg/m <sup>3</sup> )	Punto de rocío °C	Aceite m/m <sup>3</sup>
1	0,01	0,1	0,1	-70	0,01
2	0,1	1	1	-40	0,1
3	1	5	5	-20	1
4	5	15	8	+3	5
5	25	40	10	+7	7,73
6	--	--	--	+10	9,36
7	--	--	--	No especifica	No especifica

Fuente: Kaeser, 2010.

En la Tabla 6 se muestra las características de aire según su aplicación.

Tabla 6

*Características del aire según su aplicación*

Aplicaciones	Cuerpos sólidos (µm)	Punto de condensación del agua (0 °C)	Contenido máx. de aceite (mg/m <sup>3</sup> )	Clases de filtración recomendada
Minería	40	-	25	40 µm
Máquinas soldadoras	40	+10	25	40 µm
Máquinas herramienta	40	+3	25	40 µm
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40 µm
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	+3	25	40 µm o bien 50 µm
Máquinas de embalaje	40	+3	1	5 µm – 1 µm
Reguladores finos de presión	5	+3	1	5 µm – 1 µm
Aire en almacén	1	-20	1	5 µm – 1 µm
Aire para pintura	1	+3	0,1	5 µm – 1 µm
Aire puro para respirar	0,01	-	-	-0,01 µm

Fuente: Toasa, 2014.

- **Cantidad de aire:** Paredes (2016) indica. “La cantidad del sistema de aire comprimido se halla sumando el consumo de cada operación en toda la planta. También si se requiere altas demandas se instala un depósito, ya que sobredimensionar los compresores sería malo debido a que los sistemas actúan a carga parcial, consumiendo más energía de aire producido” (p.25). Es preferible tener varios compresores pequeños.
  
- **Nivel de presión:** Paredes (2016) comenta, “Se debe determinar el nivel de presión del sistema de aire comprimido y el ingeniero debe de especificar las presiones solicitadas por los distintos procesos, ya que con ambas demandas se puede definir el nivel adecuado del sistema, y no se debe olvidar que el sistema será más costoso cuando el nivel de presión sea mayor” (p.29). Para medir el nivel de presión del sistema se tiene que tomar en cuenta todas las pérdidas en las tuberías y accesorios del equipo.

”

#### 2.2.1.4.1. Separación del agua

Chérrez (2010), el aire casi siempre tiene vapor de agua y de antemano se debe prevenir que llegue a las unidades consumidoras, el cual es recomendable secar el aire comprimido. A una elevada temperatura tendrá una mayor cantidad de agua, Tabla 7.

Tabla 7

*Contenido máximo de vapor de agua g/m<sup>3</sup>*

Temperatura en °C	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90	100
vapor de agua g/m <sup>3</sup>	0,9	2,2	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	30,1	82,3	196,2	472	588

Fuente: Toasa, 2014.

#### 2.2.1.4.2. Secador del aire

Mejía (2012) señala. “El vapor en alta temperaturas es mayor y menor en temperaturas bajas, y cuando el aire que fluye se comprime la concentración de agua se incrementa, para prevenir ese problema se debe secar. El calentamiento se produce por el aumento de la energía para aumentar la presión p1 y p2” (p.50). También implica un aumento de temperatura t1 y t2, y lo vemos en la fórmula 12.

$$T2 = T1 \left( \frac{P2}{P1} \right)^{\frac{(K-1)}{K}} \quad [12]$$

Donde:

k=1,4

➤ **Tipos de secadores:** Los diversos métodos de secado del aire.

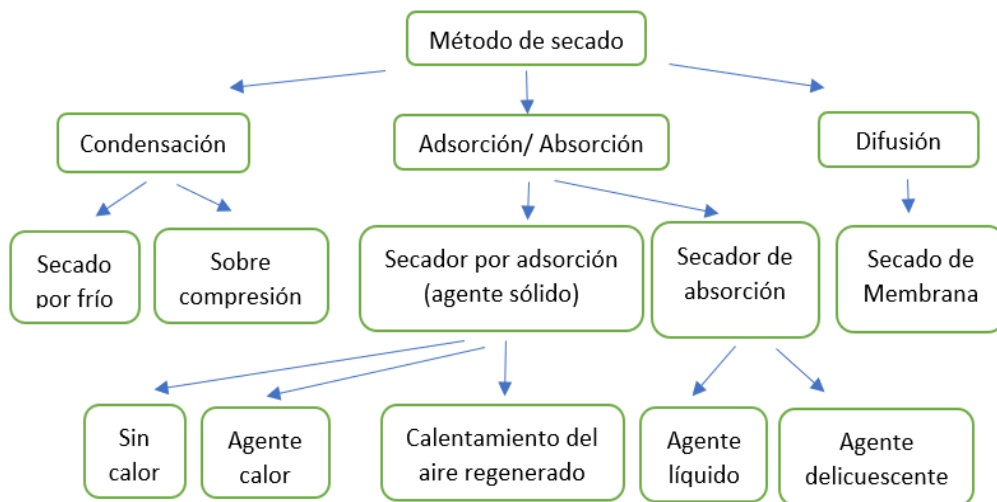


Figura 4. Método de secado

Fuente: Chérrez, 2010.

- **Sobre compresión:** Ramírez (2018), probablemente es la forma más fácil para secar el aire comprimido, y que se incrementa la concentración de vapor, debido a la compresión de aire a una presión elevada, que la de trabajo previsto, ya que luego el aire se enfría y finalmente se separe el agua.
- **Secado por absorción:** Toasa (2014) dice. “Es un método de secado puramente químico, y se utiliza en instalaciones de bajo consumo. Y que está formado por un depósito que contiene una sustancia higroscópica” (p.16). Por la cual se ha de circular al aire comprimido.

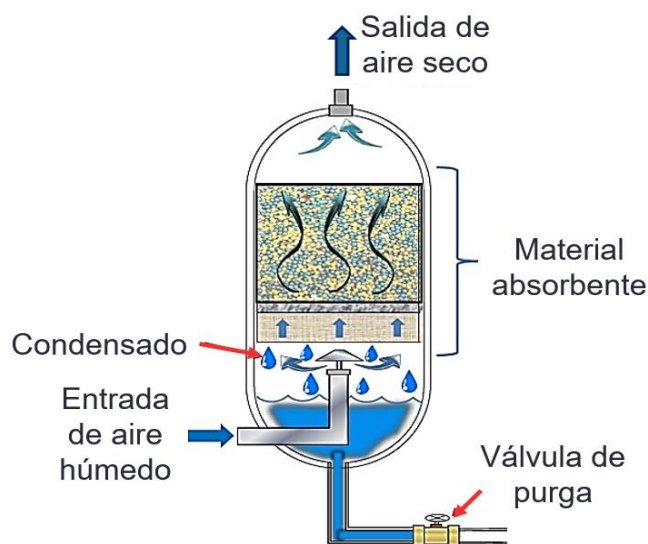


Figura 5. Sistema de secado por absorción

Fuente: Toasa, 2014.

- **Secado por adsorción:** El secado se justifica en la fijación de las moléculas de agua a un elemento poroso compuesto por dióxido de silicio, y siempre tener en consideración que el elemento adsorbente se satura, está conformada por dos depósitos, mientras uno está en uso la otra seca con el aire caliente.

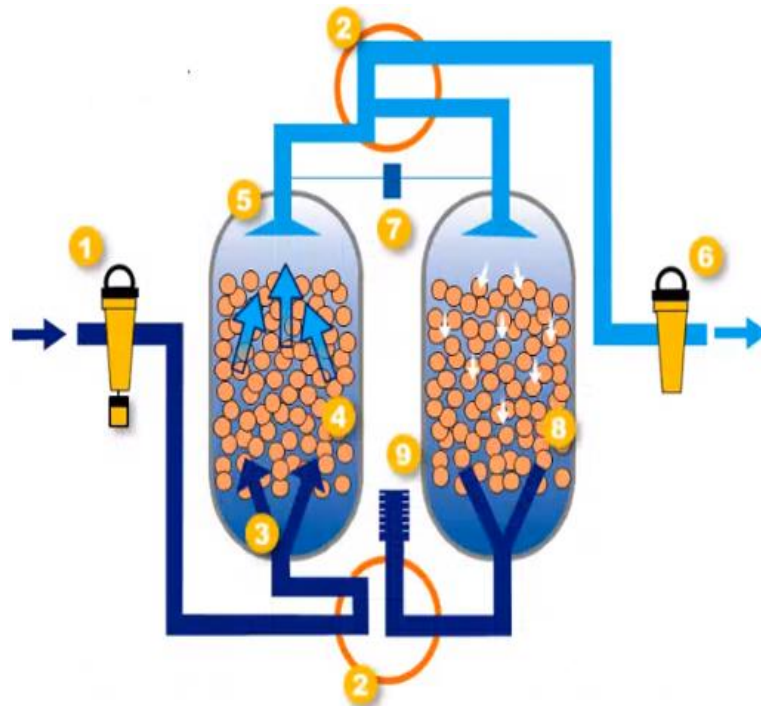


Figura 6. Sistema de secado por adsorción

Fuente: Toasa, 2014.

- **Secado en frío:** Toasa (2014) comenta. “La separación de agua se hace por enfriamiento. El aire ingresa en el equipo por un mecanismo de un intercambiador de calor, ya que luego es enfriado por el aire que esta de salida de la instalación frigorífica. Y tener como prioridad que no debe bajarse la temperatura hasta 2 °C” (p.36). Ya que empieza la congelación de los condensados y en la salida del frigorífico se planta un separador que expulsa hacia afuera. El aire seco y filtrado entra en el intercambiador secundario, donde es calentado por el aire entrante, ver Figura 7.

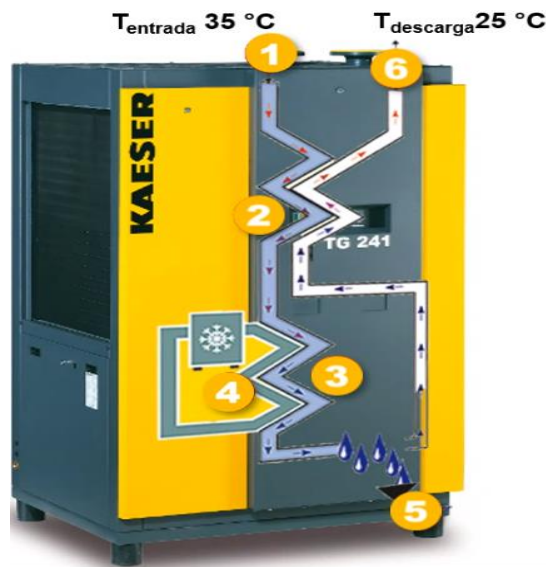


Figura 7. Sistema de secado por enfriamiento

Fuente: Toasa, 2014.

- **Secado por membrana:** Toasa (2014) comenta. “Está conformado por un haz de fibras vacías permeables al vapor, que está circundado de aire seco sin puesto a presión. El secado se produce a raíz de la diferencia de presión eventual entre el aire húmedo de las fibras y el flujo en sentido reverso del aire seco” (p.56).

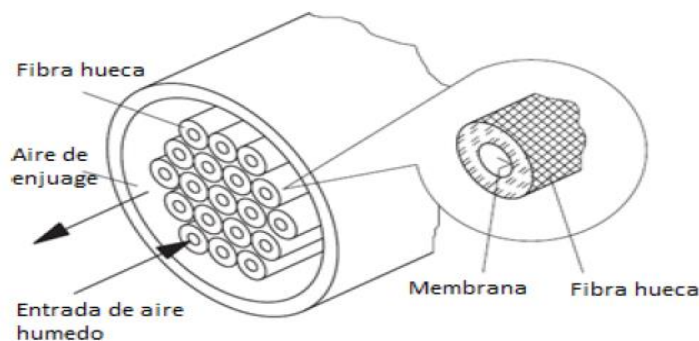


Figura 8. Secador de membrana

Fuente: Toasa, 2014.

### 2.2.1.4.3. Filtros

Según Chérrez (2010) afirma. “Estos elementos filtrantes por el cual el aire circula retienen los contaminantes en su interior. Estos filtros separan la mayor parte de los contaminantes al pasar por las aberturas existentes, y para el mantenimiento, en el vaso va fijado mediante un sistema de bayoneta y así permitiendo el desmontaje sin uso de herramientas” (p.16). Ver Figura 9, partes de un filtro.

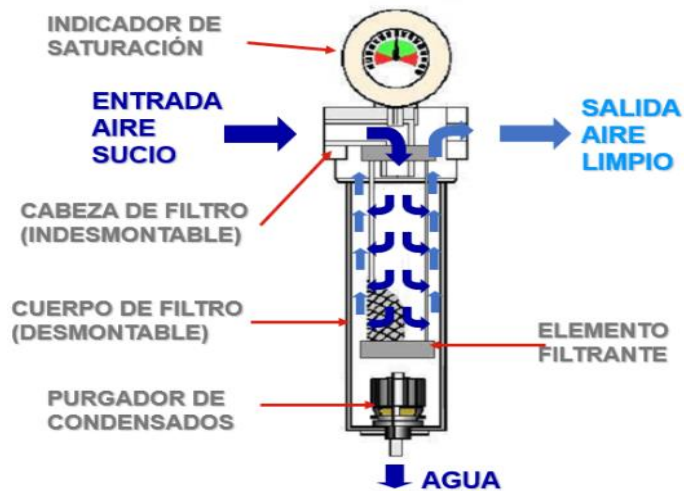


Figura 9. Partes de un filtro

Fuente: Chérrez, 2010.

**Clasificación de los filtros según su grado de filtración:** Toasa (2014)

- **Filtro de capa simple:** Son de tejido compuesta de metal y material sintético con poros, retienen tamaños mayores a  $40\ \mu\text{m}$  a  $5\ \mu\text{m}$ , según su filtración.
- **Micro filtro:** Retienen partículas de medidas superiores a  $1\ \mu\text{m}$ .
- **Sub micrónico:** Retienen partículas de tamaños superiores a  $0,01\ \mu\text{m}$  a  $5\ \mu\text{m}$ .
- **Filtros ciclónicos:** Pasan realizando un movimiento rotatorio.

- **Filtro de carbón activo:** Contienen un filtrante de carbón activo poroso y retienen partículas finas desde de un  $0,003 \mu\text{m}$ , retienen sustancias aromatizantes u odoríferas.

**Elección de los filtros en función de su aplicación:** Para elegir y ubicar en un lugar correcto los filtros, y se necesite una combinación de varios filtros.

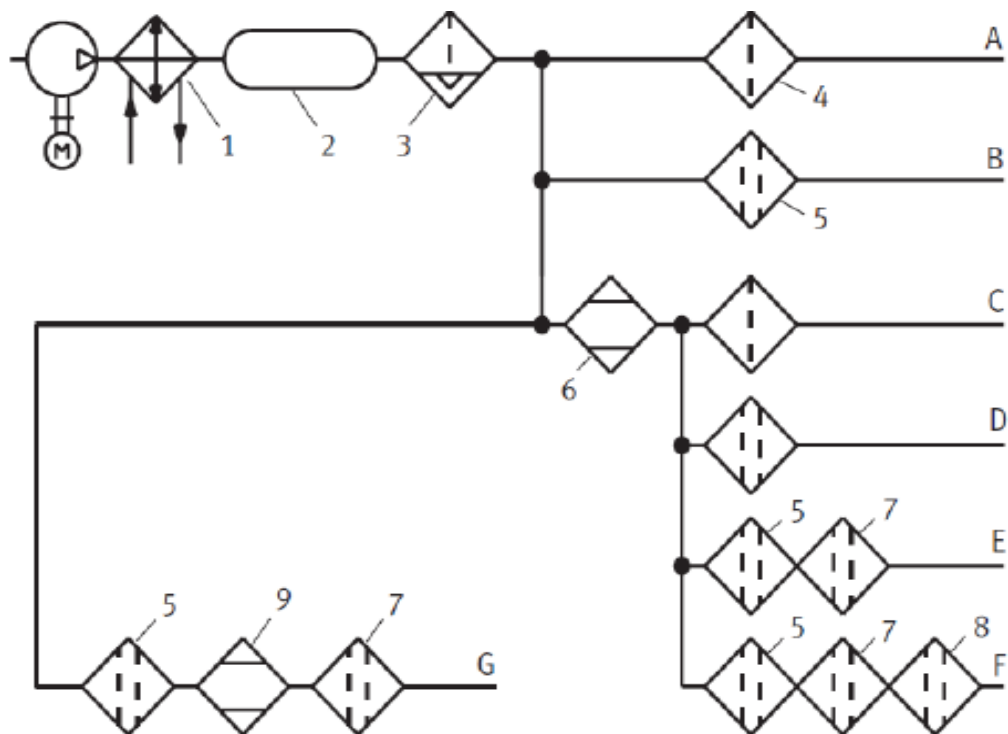


Figura 10. Esquema para la ubicación de filtros en función de sus aplicaciones

Fuente: Toasa, 2010.

Tabla 8.

*Aplicaciones para una correcta elección de filtros*

Columna 1	Tipo de filtro	Campo de aplicación	Función principal
A	-Se aceptan ligeras impurezas, humedad y aceite.	-Accionamiento de mandos de máquinas, sistemas de sujeción, martillos percutores, choros de aire, aire para taller.	-Eliminación de impurezas, partículas de polvo superiores a 5 µm, aceite líquido superior a 99 % humedad sobresaturada inferior a 99 %.
B	-Eliminación prioritaria de polvo y aceite, admitiéndose una pequeña cantidad de humedad (que se explica por la diferencia de temperaturas).	-Equipos industriales, actuadores neumáticos, juntas metálicas, herramientas, motores.	-Eliminación de impurezas partículas de polvo superiores a 0,3 µm, niebla de aceite superior a 99,9 %, humedad sobresaturada superior a 99 %.
C	-Tiene prioridad la eliminación de la humedad, aceptándose pequeñas cantidades de aceite de polvo.	-Aplicaciones similares a las de A, aunque situación más difícil debido a una mayor deferencia de temperaturas en la red o en las unidades consumidoras; cabinas de pintura, aplicaciones con spray.	-Eliminación de la humedad y de partículas de polvo superiores a 5 µm, aceite superior a 99 %, punto de condensación atmosférico de -17 °C
D	-Eliminación necesaria de humedad, polvo y aceite.	-Técnica de procesos, instrumentos de medición; sistemas sofisticados de aplicación de pintura; refrigeración de material fundido, máquinas de inyección de plásticos.	-Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,3 µm, niebla de aceite superior a 99 %, punto de condensación atmosférico de -17 °C.
E	-Necesidad de disponer de aire limpio. eliminación casi total de humedad polvo y aceite.	-Instrumentos de medición neumáticos, técnica de fluidos, pintura de aplicación electrostática, secado y limpieza de componentes electrónicos.	-Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,01 µm, niebla de aceite superior a 99,9999 %, punto de condensación atmosférico de -17 °C.
F	-Necesidad de disponer de aire extremadamente limpio. Eliminación casi completa de humedad, polvo, aceite y olor.	-Industria farmacéutica y alimentaria (embalaje, secado, transporte, preparación de alimentos), aplicaciones de técnica médica, trabajos de sellado y emplomado.	-Eliminación de todas las impurezas y sustancias odoríferas, partículas de polvo superiores 0,01 µm, niebla de aceite superior a 99,9999 %, punto de condensación atmosférico de -17 °C.
G	-Necesidad prioritaria de un bajo punto de condensación y aire prácticamente exento de polvo aceite.	-Procesos de secado en electrónica, almacenamiento de productos farmacéuticos, instrumentos de medición en la marina, transporte de material en polvo.	-Eliminación de todas las impurezas, humedad y vapores, partículas de polvo superiores a 0,01 µm , niebla de aceite superior a 99,99 %, punto de condensación atmosférico menores a -30 °C

Fuente: Toasa, 2014.

#### 2.2.1.4.4. Reguladores de presión

Chérrez (2010), indica que los reguladores de presión realizan un flujo de aire comprimido a una presión continua y se ajustan a un punto de trabajo muy aparte de los inconvenientes producidas en la red útil de distribución. Usualmente son del tipo pistón, válvula o tipo diafragma; y ya que la válvula principal es de asiento plano, entonces, la regulación se hace minimizando la presión útil de alimentación.

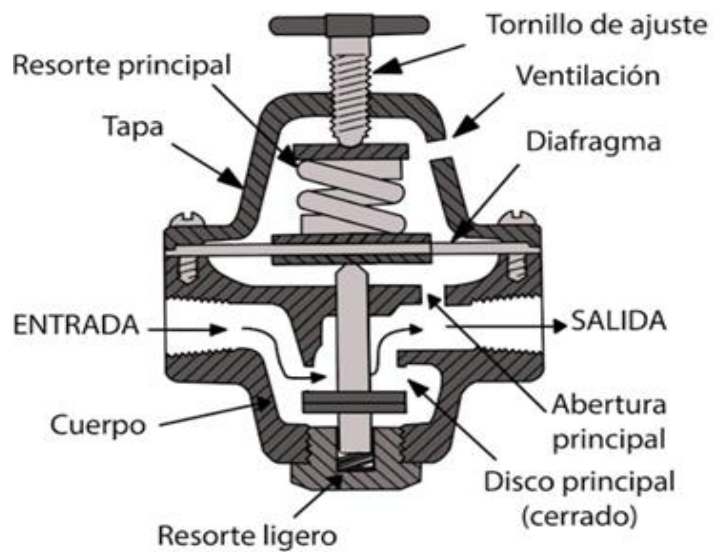


Figura 11. Regulador de presión

Fuente: Chérrez, 2010.

Toasa (2014), dice que en una red de aire comprimido hay dos tipos de presiones:

- **Presión primaria;** sufre oscilaciones y se localiza en el circuito principal.
- **Presión secundaria;** es la que llega a las unidades consumidoras, y que los reguladores necesitan un suministro de presión como mínimo de 1 bar por encima de la salida, y si esta tiene variaciones, fallarán los equipos.

Hesse (2002) , indica dos de los tipos comunes de reguladores de presión.

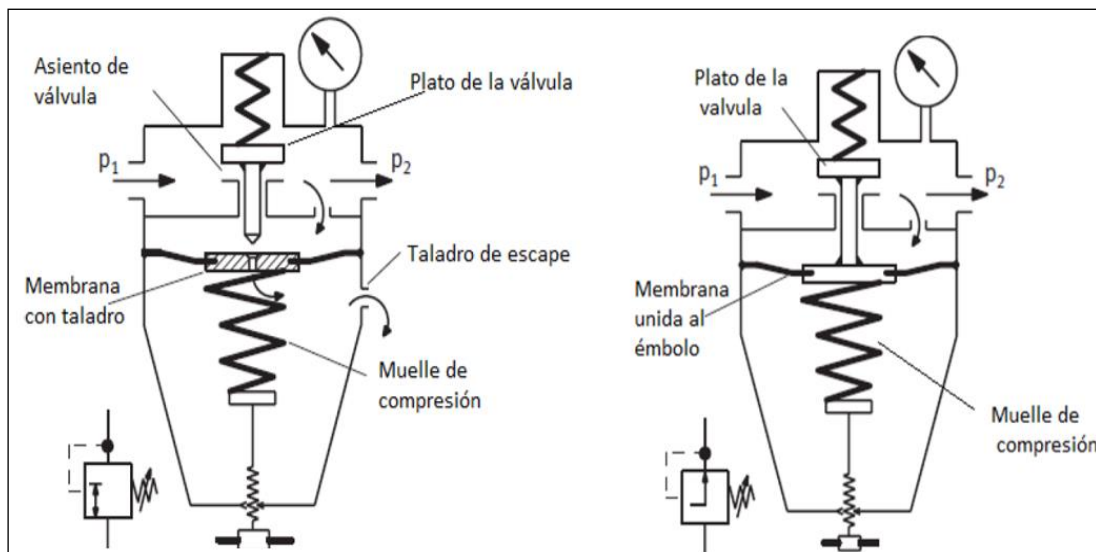


Figura 12. Regulador con taladro de escape y sin taladro de escape

Fuente: Hesse, 2002.

#### **2.2.1.4.5. Lubricadores**

Chérrez (2010), suministra aceite a los componentes y dispositivos neumáticos para evitar un desgaste, el tamaño máximo de aceite es de 40 micras.



Figura 13. Lubricadores

Fuente: SMC, 2016.

#### **2.2.1.4.6 Tratamiento de aire en los puntos de consumo**

Según Martínez (2018), dice que después de haber sido filtrado el aire comprimido y suministrado a la red de distribución, puede presentar sobras del aceite

en los puntos de consumo; por otro parte, se recomienda que el aire suministrado conserve una presión adecuada asegurando la vida máxima del equipo. También recomienda que se debería colocar una última estación en los consumidores finales.

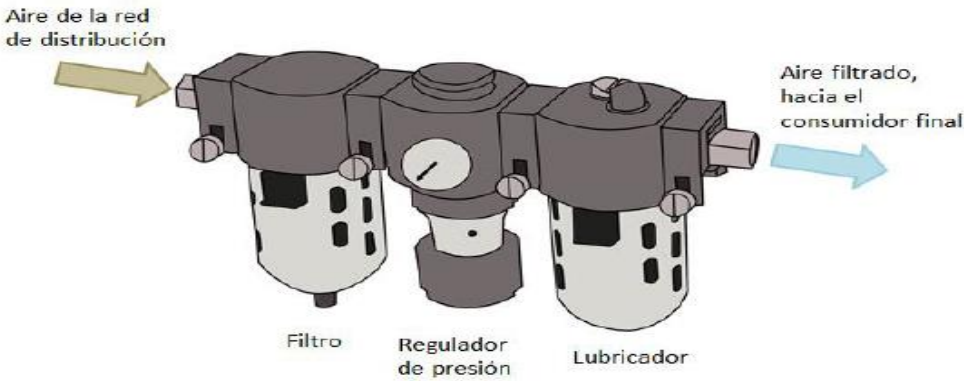


Figura 14. Unidad de mantenimiento con filtro, regulador y lubricador propia  
Fuente: Martínez, 2018.



Figura 15. Distintos arreglos de unidades de mantenimiento  
Fuente: Martínez, 2018.

### 2.2.1.4.7 Enfriadores

Mejía (2012), indica que un enfriador no es nada menos que un intercambiador útil de calor que enfría el aire comprimido caliente y recopilará el 80 % del agua condensado en las tuberías.

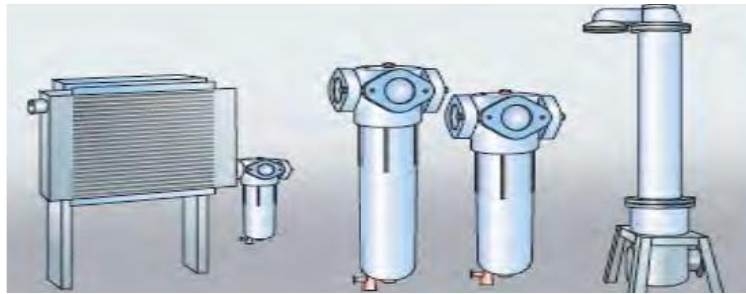


Figura 16. Diferentes post- enfriadores y filtros separadores

Fuente: Mejía, 2012.

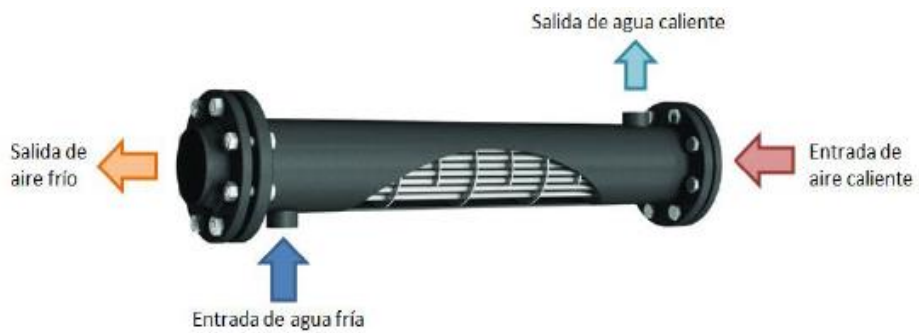


Figura 17. Enfriador aire - agua

Fuente: Martínez, 2018.



Figura 18. Enfriador aire - aire  
Fuente: Martínez, 2018.



Figura 19. Arreglo del enfriador y el separador de humedad  
Fuente: Martínez, 2018.

#### **2.2.1.5. Importancia y aplicaciones del aire comprimido**

Sáenz (2014), dice que hoy en día la tecnología del aire comprimido se hace más importante, ya que, con su utilización en el desarrollo, aplicaciones didácticas y de trabajo automatizadas va en un aumento progresivo de crecimiento.

En justificación a ello, el aire comprimido puede utilizarse para el desplazamiento, giro, sujeción, separación, posicionamiento de piezas, apilado, para embalar, llenar, bloquear, dosificar, abrir y cerrar puerta, accionar ejes, banco de pruebas para laboratorios y limpieza de módulos o de áreas de trabajo en el instante de una instalación , montaje de un equipo. (Sáenz, 2014)

## **2.2.2. El sistema de aire comprimido**

### **2.2.2.1. Generación de aire comprimido**

Chérrez (2010) comenta. “El aire comprimido. se genera aspirando aire de la atmosfera y comprimiéndolo a un volumen más pequeño, para después almacenarlo en un depósito, para luego emplearse en trabajos mecánicos lineales como para lograr el movimiento de un pistón o motor neumático” (p.62). También para trabajos de spray, pinturas, barnices, atomización etc.

#### **2.2.2.1.1. Compresor**

Toasa (2014) indica. “El compresor es un dispositivo capaz de producir aire comprimido a partir de una fuente de energía que en la mayor parte de los casos es producida por un motor eléctrico o también un motor eficaz de combustión interna. Luego el aire con presión es transferido a un recipiente para luego ser distribuido a las unidades consumidoras” (p.68). Como solo una porción de la energía entregada por el motor fue utilizada, el resto de energía se pierde por calor.

### 2.2.2.1.2. Tipos de compresor

También Chérrez (2010), dice que los compresores se clasifican en volumétricos o también llamado de desplazamiento positivo y rotodinámicos , conformadas por las normas API 617 y 619 que hace referido a los compresores utilizados en la industria petrolera.

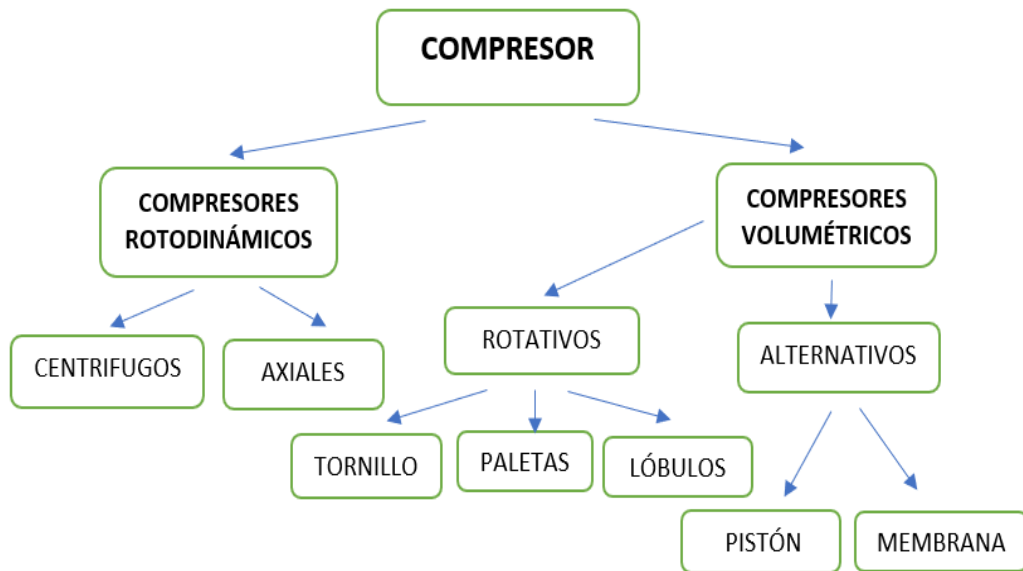


Figura 20. Clasificación de los compresores

Fuente: Chérrez, 2010.

- **Compresores de desplazamiento positivo:** Con el objetivo de obtener aumento de presión en esta clase de compresores, participan mecanismos los cuales reducen un espacio para que ingrese aire a presión normal, para así mediante la reducción de espacio aumentar la presión. Este tipo de compresores se denomina también compresores volumétricos, (Toasa, 2014)
- **Compresores rotativos de lóbulos:** Barria (2005) afirma. “Son aquellos que trabajan con dos rotores acoplados, montados encima de ejes paralelos, para una igualdad de etapa repetida de compresión, en su corte seccional tiene una forma parecida a un ocho” (p.72). Estos compresores se conocen como sopladores, y se usan para grandes volúmenes de aire y a presiones bajas.

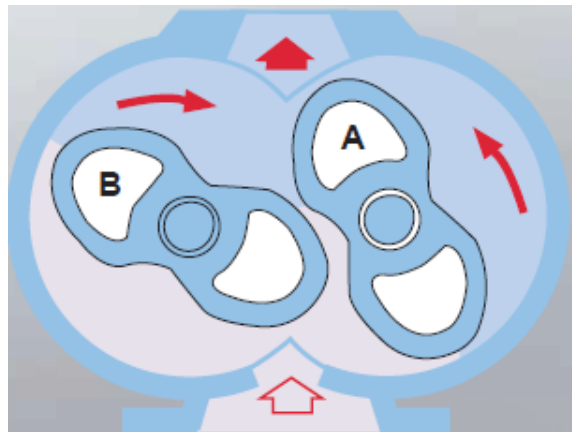


Figura 21. Compresor de lóbulos rectos

Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresores rotativos de tornillo:** Fordel (2011) comenta. “Está constituido por dos tornillos en donde la distancia entre los labios es totalmente reducida mientras se acerca a la salida obteniendo con esto la compresión, las piezas principales del elemento de tornillo son los rotores macho, hembra y la carcasa, que giran en direcciones contrarias mientras baja la capacidad entre ellos” (p.74). Debido a que estos tornillos están constantemente en contacto deben de llevar lubricante, pero hay otros que no la necesitan.

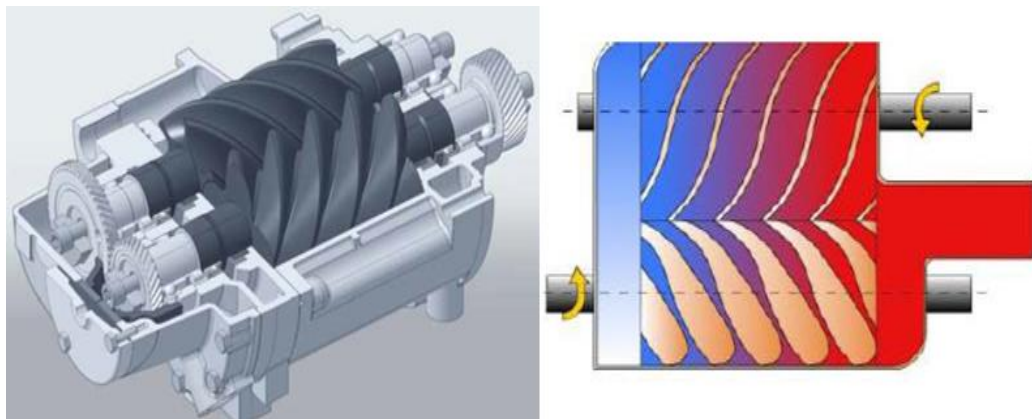


Figura 22. Compresor de tornillos

Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresores de tornillo exentos de aceite:** Según Fordel (2011), “Los primeros compresores de tornillo tenían un perfil simétrico y no usaban ningún líquido de refrigeración en la cámara de compresión. Como los rotores no hacen contacto entre sí, ni con la carcasa, no se necesita lubricación dentro de la cámara de compresión. Por consiguiente, el aire comprimido está completamente libre de aceite” (p.75). Los rotores y la carcasa se fabrican con gran precisión para minimizar las fugas.

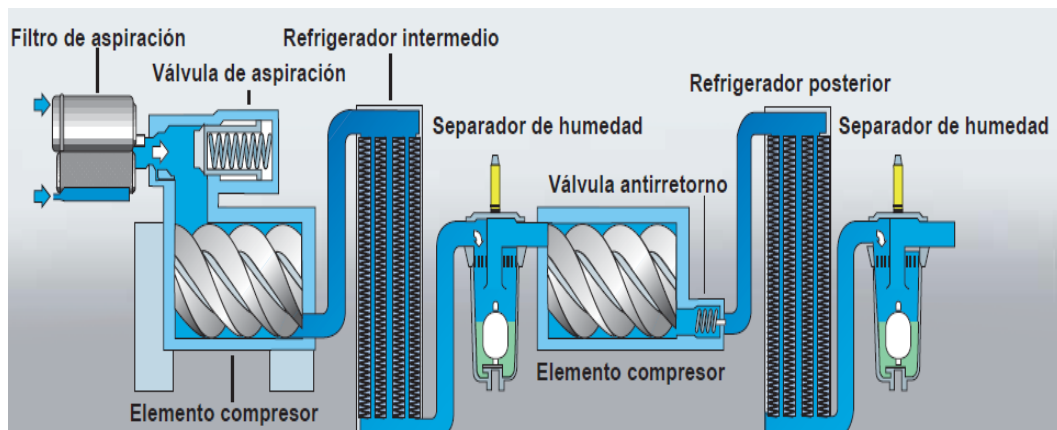


Figura 23. Diagrama de flujo de un compresor de tornillo exento de aceite.

Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresores de tornillo con inyección de líquido:** Fordel (2011) afirma. “En los compresores de tornillo con inyección de líquido se inyecta un líquido en la cámara de compresión y a veces en los rodamientos del compresor. Su función es enfriar y lubricar las piezas móviles del elemento compresor, enfriar el aire que se comprime internamente y reducir las fugas de retorno a la aspiración” (p.76). En la actualidad, el aceite es el más recomendado gracias a sus buenas propiedades de lubricación y sellado.

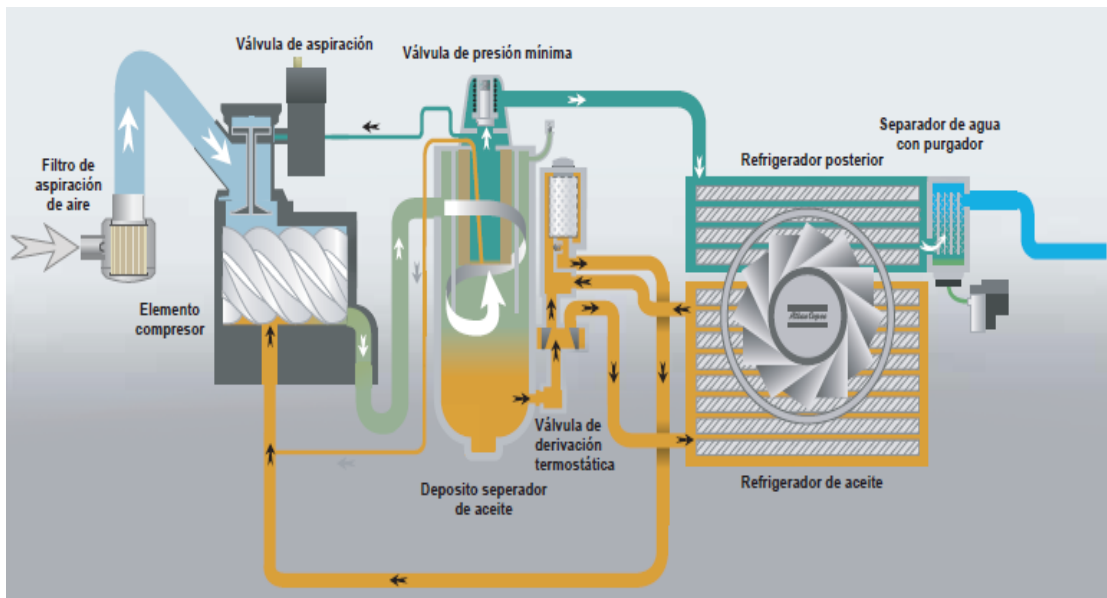


Figura 24. Diagrama de flujo de un compresor de tornillo con inyección de aceite

Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresor rotativo de paletas:** Toasa (2014) comenta. “Está constituido por paletas deslizantes situadas en las ranuras de un rotor que está montado encima excéntricamente en el interior de una carcasa. Estas paletas dan la imagen de rozar por una parte la pared, cuando gira el mecanismo llamado rotor, también las paletas se movilizan contra las paredes del estator por la fuerza centrífuga, originando así del lado opuesto una cámara de trabajo en forma de media luna” (p.61). la ventaja de estos compresores es el flujo continuo de aire silencioso y su pequeño tamaño.

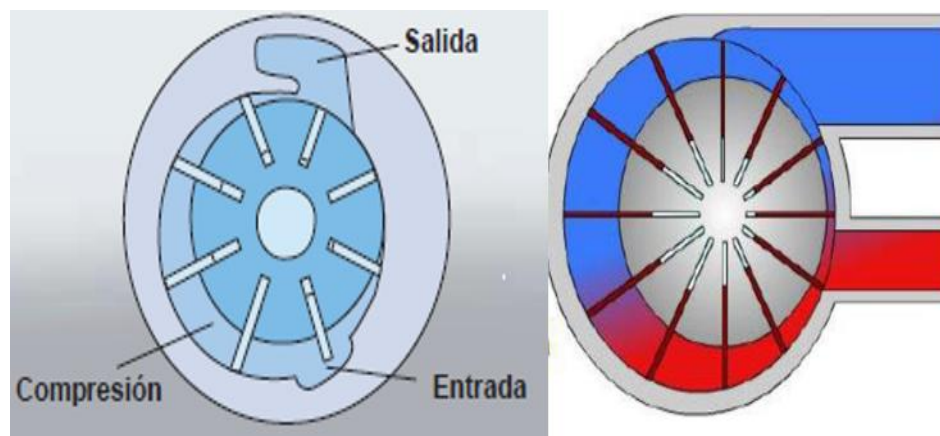


Figura 25. Compresor de paletas  
Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresores alternativos:** Según Toasa (2014), a través del movimiento de un cilindro conseguimos la compresión de aire, este mecanismo puede dar la compresión desde un cilindro o también usando dos cilindros, también estos cilindros pueden estar en forma horizontal, vertical o con una cierta inclinación. Estos funcionan bajo el principio de desplazamiento y son máquinas que tienen por objetivo brindar una determinada energía a esos fluidos compresibles (vapores y gases). Los más comunes que están dentro de los alternativos son de pistón y de membrana.
- **Compresor de pistón:** Fordel (2011) señala. “El compresor de pistón es el más contemporáneo y común de todos los compresores en la industria. Estos hay en variantes de simple o como también de doble efecto, lubricado o exento de aceite y con diversos números de cilindros en diferentes configuraciones” (p.77). La configuración en V es la más común en compresores pequeños.

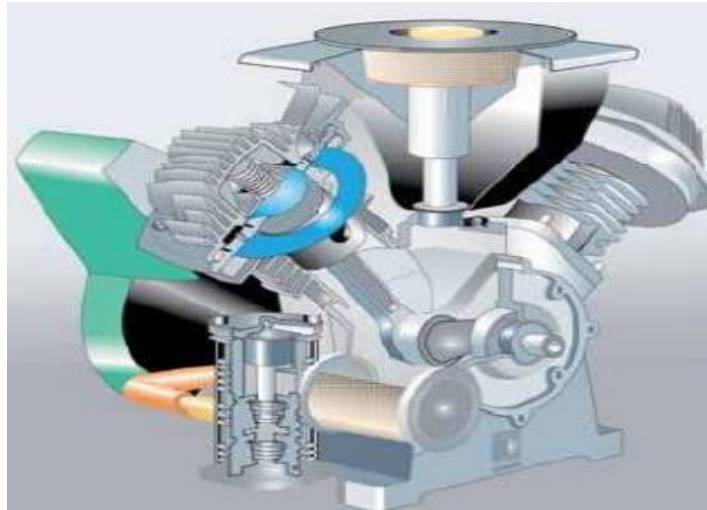


Figura 26. Compresor de pistón

Fuente: Fordel, 2011.

- **Compresor de membrana o diafragma:** Fordel (2011), indica que estos conforman otro singular grupo; de igual forma nos dice que su diafragma se acciona hidráulicamente, el de tipo de acción mecánico se usan para bombas de vacío o también para presiones y caudales bajos. Los compresores de diafragma hidráulico se usan para presiones altas.

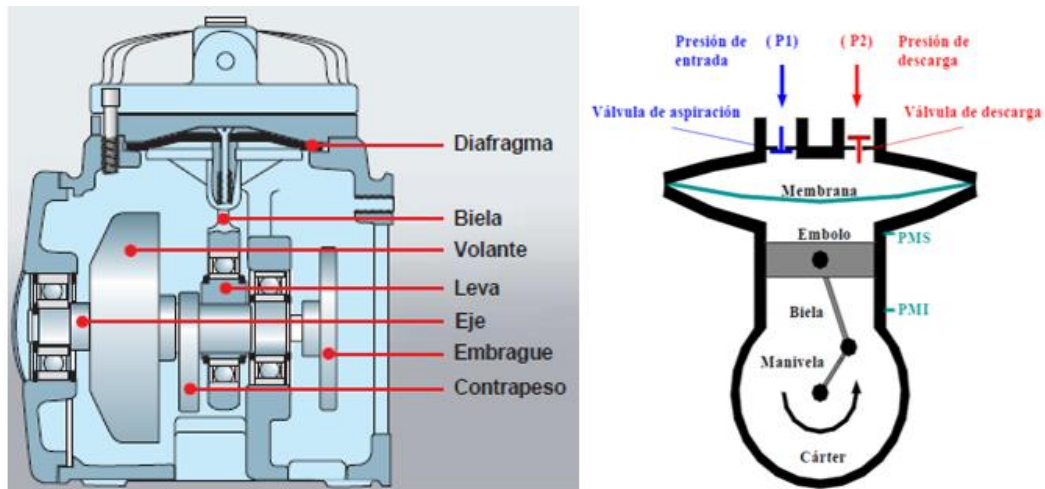


Figura 27. Compresor de diafragma

Fuente: Ramírez, 2018.

Estos tipos se emplean en las industrias alimenticias, farmacéuticas y químicas, donde el tratamiento del aire es en extremo riguroso. (Barria, 2005)

- **Compresores dinámicos:** Toasa (2014) ,indica que la característica principal de estos compresores es que otorgan flujo convirtiendo la energía cinética en presión a diferencia de los compresores volumétricos. Estos compresores dinámicos se dividen en dos tipos centrífugos y axiales. Estos también se denominan rotodinámico o también llamado de desplazamiento negativo.

- **Compresores centrífugos:** Fordel (2011), comenta que consta de un impulsor con álabes tipo radiales y cuando el aire entra por la campana donde se sitúan dichos álabes, los cuales impulsan al aire gracias a la fuerza centrífuga con un flujo constante y libre de aceite.

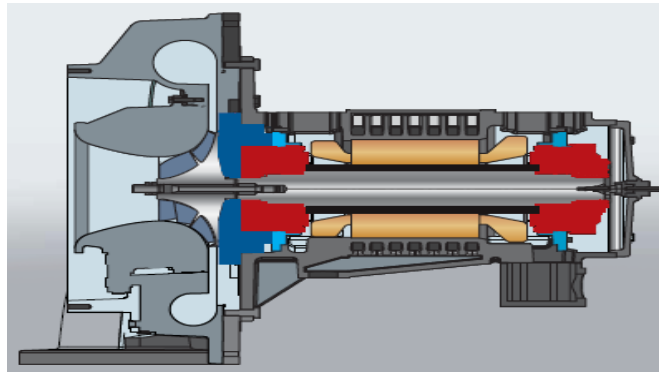


Figura 28. Compresor centrífugo

Fuente: Fordel, 2011.

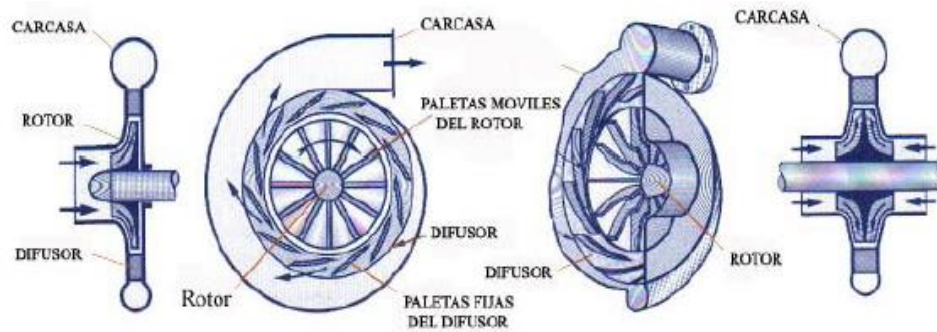


Figura 29. Vistas de compresores centrífugos de simple y doble acción

Fuente: Barria, 2005.

- **Compresores axiales:** Fordel (2011) afirma. “Está formado por filas alternadas de alabes estacionarias y rotativas que proporcionan el flujo en la misma dirección de su eje” (p.78). Los alabes móviles entregan velocidad y presión al girar el rotor, para que así los alabes estacionarios conviertan esta misma en presión por expansión.

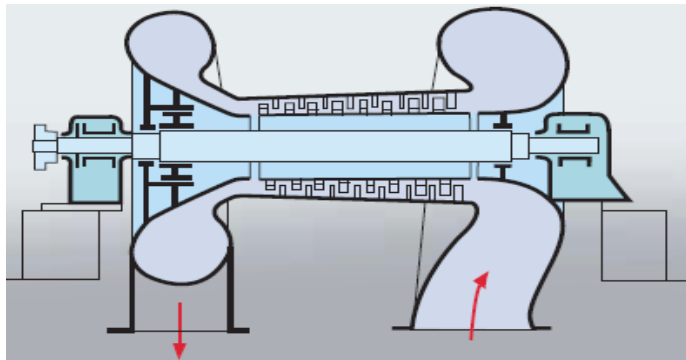


Figura 30. Compresor axial  
Fuente: Fordel, 2011.

### 2.2.2.1.3. Selección del compresor

Chérrez (2010), los parámetros para la selección de un compresor y las características de un compresor que influyen en su elección para diversos tipos de compresores se resumen en la Tabla 9 y 10.

Tabla 9

*Parámetros en la selección de un compresor*

Parámetros	Observaciones
Rendimiento total	Primordial, si se requieren grandes caudales.
Capacidad y presión	Determina normalmente el tipo idóneo.
Control	Confirmar la adaptación a las condiciones de carga.
Utilización	Tener en cuenta el rendimiento. El uso intermitente sin carga anula la importancia del rendimiento como parámetro de selección.
Refrigeración	El rendimiento depende de la refrigeración; si se proyecta bien este sistema se necesita menos agua y se reduce el costo. La refrigeración por aire rinde menos y es de aplicación más limitada.
Velocidad	Determina la aptitud para accionamiento directo.
Espacio	La elección de un compresor puede ser influida por el espacio en planta, el montaje fijo o sobre remolque.
Vibración	Los elevados niveles de vibración pueden causar dificultades o limitar las velocidades de los motores.
Tipo de válvula	Una válvula correctamente proyectada asegura un funcionamiento con pocas pérdidas y fiable.
Lubricación	Se emplea en los modernos compresores alternativos. Algunos tipos pueden funcionar sin lubricación.
Mantenimiento	Los costos de mantenimiento pueden convertirse en gastos generales después del primer año.
Ruido	Algunos tipos son ruidosos y difíciles de silenciar sin una pérdida drástica de rendimiento.
Costo del motor	Puede influir en el costo inicial y funcionamiento.
Costo de la cimentación	Importante según los tipos.
Adaptación	Capacidad de adaptarse a las instalaciones.

Fuente: Chérrez, 2010.

Tabla 10

*Características de un compresor que influyen en su elección*

	Cos. inicial	Rendimiento	Instalación	Vibración	Niv. ruido	Mantenimiento	Observaciones
ALTERNATIVO	De bajo a moderado	Elevado		Reducida en las configuraciones L y W	Muy alto		Elección normal para capacidades hasta 3500 cfm para suministro a redes neumáticas.
DIAFRAGMA	Bajo	Elevado		Elevado	Elevado		Capacidad limitada, pero muy adecuada para gases tóxicos o corrosivos.
PALETAS	De bajo a moderado	Ligeramente inferiores de los alternativos	Sencilla	Nula	Bajo (sobre todo en el tipo refrigerado por agua)	Las paletas y los anillos de retención se gastan	Ideal para aplicaciones presión (soplante) y gran volumen.
ROOTS	Bajo	Bajo, pero crece con el tamaño	Sencilla	Poca si el rotor está bien equilibrado	Elevado	Precisa y poca	Ideal para aplicaciones de presión media y poco actual.
DE TORNILLO	Moderado a Elevado	Alto (equiparable al de los alternativos)	Sencilla	Regular	Muy alto	Precisa	Los modelos actuales pueden competir con los alternativos y con las turbomáquinas.
CENTRÍFUGO	Elevado	Escaso en los de tamaño reducido, crece con el tamaño	Precisa un firme adecuado	Importante el equilibrado por las grandes velocidades implicadas	Se rebaja por filtración	Bajo	Maquinas esencialmente rápidas, con buen rendimiento. No suelen ser competitivas para menos de 6000 cfm.
AXIAL	Elevado	Elevado	Precisa un firme adecuado		Se rebaja por filtración	Bajo	Sin competencia para grandes caudales (desde los 10 000 cfm)

Fuente: Chérrez, 2010.

Según Fordel (2011), menciona los parámetros para el funcionamiento del compresor en gran altitud, el cual son las siguientes:

- **Parámetros para el funcionamiento en gran altitud:** Tanto la presión como la temperatura ambiente disminuyen con la altura sobre el nivel del mar. Esta menor presión de entrada afecta a la relación de presiones de los compresores y de los equipos conectados, lo que en la práctica influye en el consumo de energía como en el consumo de aire. A la vez, los cambios debido a una mayor altitud también afectan a la potencia nominal disponible de motores eléctricos y de motores de combustión. A continuación, en la siguiente Tabla 11, se muestra la presión y temperatura estandarizadas a diferentes alturas. La presión también depende del tiempo atmosférico y varía aproximadamente en  $\pm 5\%$ , mientras que la temperatura puede variar de forma considerable en función de la estación del año.

Tabla 11

*Presión y temperatura estandarizadas a diferentes alturas*

Altura por debajo / encima del nivel del mar	Presión bar (a)	Temperatura ° C
-400	1,062	17,6
-200	1,038	16,3
0	1,013	15
200	0,989	13,7
400	0,966	12,4
600	0,943	11,1
800	0,921	9,8
1000	0,899	8,5
1200	0,877	7,2
1400	0,856	5,9
1600	0,835	4,6
2000	0,795	2
2200	0,775	0,7
2400	0,756	-0,6
2600	0,737	-1,9
2800	0,719	-3,2
3000	0,701	-4,5
3400	0,666	-7,1
4000	0,616	-11

Fuente: Fordel, 2011.

- **Instalación:** Con compresores de menos de 20 CV, no suele presentarse dificultades. Los más potentes requieren cimentaciones, cuyas dimensiones y el precio aumentan con la proporción del compresor, como referencia los compresores tipo alternativo. Los grandes compresores centrífugos y de flujo

axial son mucho menos problemáticos en este aspecto, porque son máquinas esencialmente equilibradas al igual que las de tipo tornillo. La decisión de si la instalación debe ser centralizada o descentralizada puede afectar al espacio de suelo necesario y quizás a los planes futuros de ampliación.

- **Vibración:** Según Chérrez (2010) comenta. “Las máquinas rotativas son de funcionamiento más suave que las alternativas. Algunas de estas últimas requieren particular atención para evitar las vibraciones excesivas que generan” (p.53).

Tabla 12

*Guía general de costos comparativos*

	ALTERNATIVOS			ROTATIVOS			DINÁMICOS	
	Vertical	Horizontal	En V o W	Paletas	Roots	Tornillo	Centrifugo	Flujo axial
Costo inicial	Medio o moderado	Medio	Bajo	Mín.	Muy bajo	Bajo	medio	Menor que los centrífugo
Costo de instalación	Puede ser elevado	Puede ser elevado	De bajo a medio	Muy abajo	Mínimo	Mínimo	Bajo	Bajo
Costo del motor	Elevado	Elevado	Medio	Muy abajo	Medio	Muy bajo	Mínimo	Mínimo

Fuente: Chérrez, 2010.

➤ **Ruido:** Chérrez (2010) afirma. “Algunos compresores son más ruidosos, pero es imposible una descripción general de este parámetro, sobre todo porque el espectro sonoro generado por las diversas máquinas es muy variado” (p.55).

➤ **Dimensionamiento del depósito:** Deben cumplir las siguientes funciones:

- Gracias al gran volumen del tanque el aire se enfría, desprendiendo parte de la humedad (condensado) y además se retienen impurezas, por lo que dispone un purgador.
- Estabilizar las pulsaciones de presión.
- Compensar las oscilaciones de presión de la red de aire comprimido.

Díaz (1987) comenta. “El diseñador debe determinar la diferencia de presión admisible en el interior de la red  $\Delta P$ , esta diferencia de presión en instalaciones neumáticas varía generalmente entre 0,1 y 1,6 bar, mientras menor sea el nivel de  $\Delta P$ , la presión existente en la red será más constante” (p.46). Así mismo las dimensiones del acumulador y la red serán elevados en el costo, en caso contrario habrá caída de presión, pero las dimensiones y costos se reducirían, el valor que se escoja dependerá,

con mucha frecuencia se opta por elegir  $\Delta P = 1$  bar. Para el diseño de depósitos se debe de tomar las normas ASME, tipo de material, volumen de trabajo, espesor y presión.

El depósito debe ser de gran tamaño como para almacenar todo el aire entregado por el mecanismo del compresor en un minuto.

$$V_t = \frac{Q_c * 0,25 * 60 * P_{atm}}{40 * (P_f - P_i)} \quad [13]$$

Donde:

$V_t$  = Volumen del tanque en  $\text{pie}^3$ .

$Q_c$  = FAD del compresor en cfm.

$P_{atm}$  = Presión atmosférica en bar.

$P_f$  = Presión manométrica final en bar.

$P_i$  = Presión manométrica inicial en bar.

Sin embargo, Díaz (1987), dice que el consumo del tanque de almacenamiento se calcula de la siguiente manera.

$$\tilde{V}_{consumo} = \frac{V * \Delta P}{P_o * t} \quad [14]$$

Donde:

V = Capacidad del depósito.

$\Delta p$  = Diferencia de presión de carga ( $p_1$ ) y alivio ( $p_2$ ).

$\Delta p = (p_2 - p_1)$ .

t = Tiempo de llenado de los depósitos.

La duración de período de carga y de alivio de los tanques:

- **Tiempo de alivio:**

$$t_1 = \frac{V (\Delta p)}{P_o * \tilde{V}_{consumo \ tanq}} \quad [15]$$

- **Tiempo de carga:**

$$t_2 = \frac{V (\Delta p)}{P_{o*}(\tilde{V} - \tilde{V}_{consumo\ tanq})} \quad [16]$$

- **El volumen del compresor:** (Díaz, 1987) afirma. “Siendo  $i$  un coeficiente de llenado de los tanques, ya sea que se llene en un 50 % toda su capacidad, y/o dependiendo la necesidad de llenado de los mismos” (p.46).

$$\tilde{V}_{compresor} = \frac{\tilde{V}_{consumo\ tanque}}{i} \quad [17]$$

## 2.2.2.2. Red de aire comprimido

### 2.2.2.2.1. Descripción general y elementos de una red

Se dice que es el conjunto de accesorios y tuberías que son partes de la red neumática, que estén fijamente juntas entre sí y que lleven el aire comprimido a las unidades consumidoras.

Según Chérrez (2010), señala que el esquema tradicional de una red de aire comprimido está conformado por los siguientes componentes.

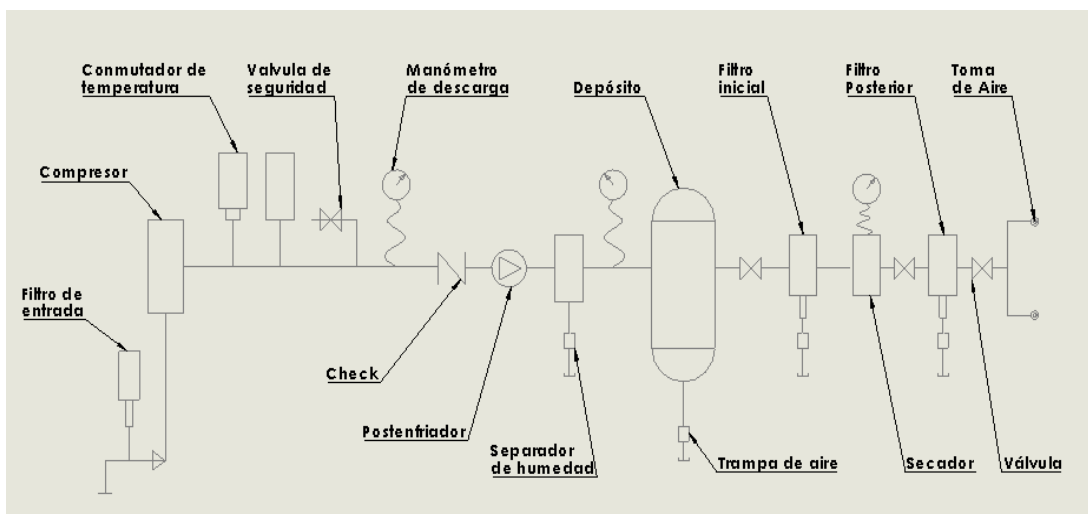


Figura 31. Componentes de una red de aire comprimido

Fuente: Chérrez, 2010.

### 2.2.2.3. Distribución de la red de aire comprimido

Ramírez (2018), señala. “El aire luego de pasar por la compresión debe ser derivado a todas las máquinas y equipos que lo necesitan, este mecanismo de distribución se da por distintas secciones de tubería, accesorios válvulas, entre otros. Los trazados para una red, son los siguientes” (p.71).

- **Trazado o circuito en bucle abierto:** También denominado trazado de final en línea muerta, este se caracteriza por contar una sola línea de salida del compresor de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio, y contar con una sola dirección de circulación y un final de línea cerrado del aire comprimido. Este circuito es el más usual en instalaciones pequeñas como en un taller artesanal donde el aire se lleva por un medio de un sistema no muy complejo, donde la poca inversión inicial es su ventaja y la desventaja es su mantenimiento, ya que implicaría una detención de la producción.

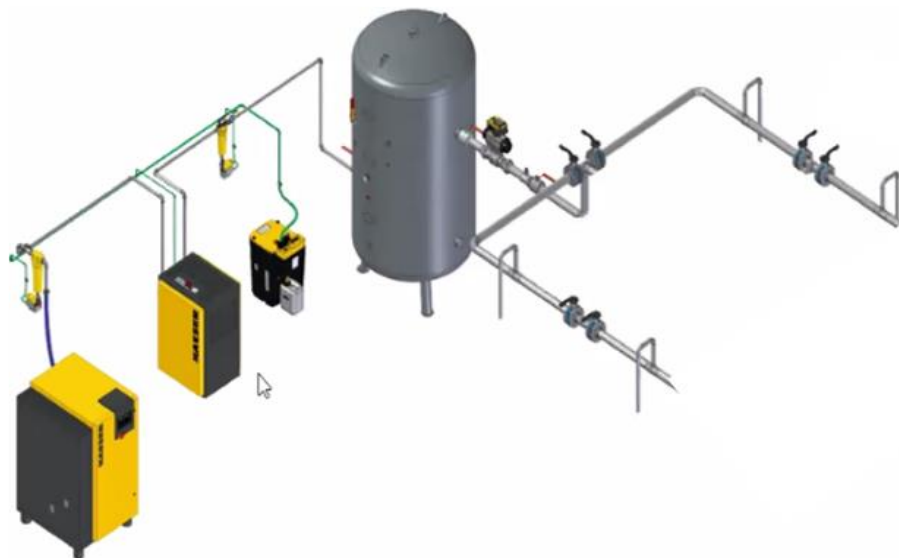


Figura 32. Red de distribución abierta  
Fuente: Carnicer, 1994.

- **Inclinación de la red:** Chérrez (2010), indica que este tipo de red está formada por tuberías que parten del compresor y se ramifica hasta llegar a los puntos finales de consumo, y es recomendable permitir una leve inclinación de pendiente de 2 % en favor del sentido del flujo para facilitar la extracción del condensado.

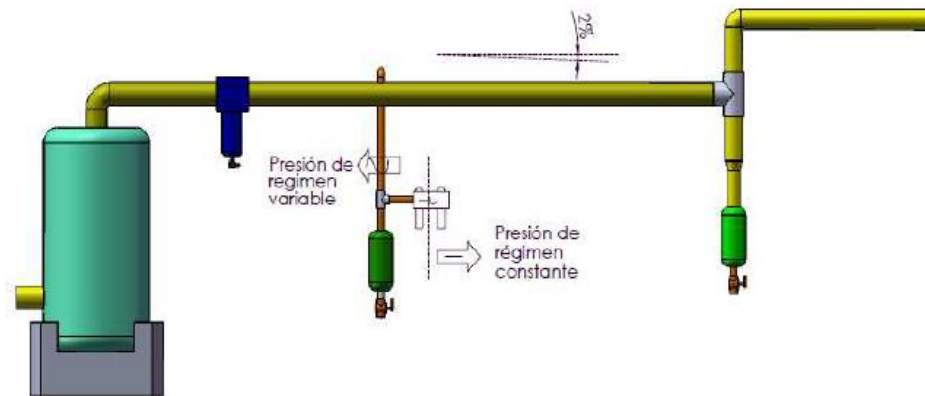


Figura 33. Inclinación en una red de aire comprimido

Fuente: Chérrez, 2010.

- **Forma de las tomas de presión:** Es recomendable contar con las tomas de presión en forma de garrota o cuello de cisne desde la parte superior del conducto y terminar con un purgador en su extremo inferior en cada bajada de la red, ver Figura 34.

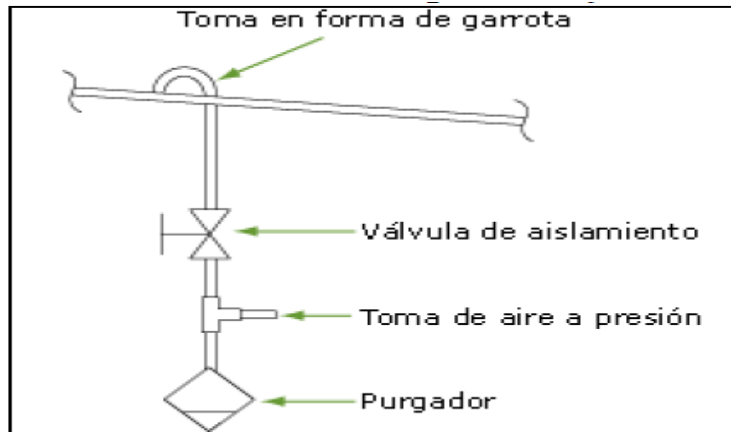


Figura 34. Forma de toma de presión y toma de purga

Fuente: Iglesia, 2013.

- **Curvatura:** Toasa (2014) afirma. “Cuando los cambios de dirección sean exagerados se debe hacer una curvatura, la misma que no deberá tener un radio interior menor a dos veces el diámetro externo del tubo, sin pérdidas” (p.71).

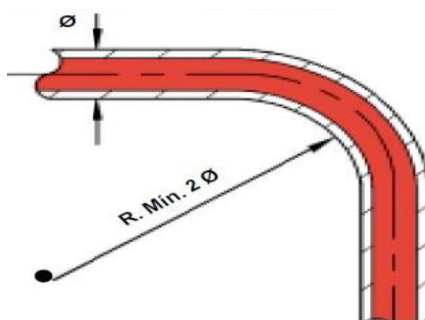


Figura 35. Curvatura en una red de distribución

Fuente: Toasa, 2014.

- **Trazado o circuito en bucle cerrado:** También conocido como trazado en anillo cerrado, a diferencia del anterior este es bueno en instalaciones medianas y grandes, ya que las pérdidas son reducidas en todas las tomas, pero el principal defecto es el costo muy elevado, ya que requiere mayor longitud de tubería para cerrar el circuito de red, pero el mantenimiento se facilita, sin perjudicar la producción. La falta de dirección continuo del flujo es una desventaja y en cuanto a la dirección, esta depende de las demandas y cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema es que los accesorios son en un solo sentido y una variación del flujo sería fatal.

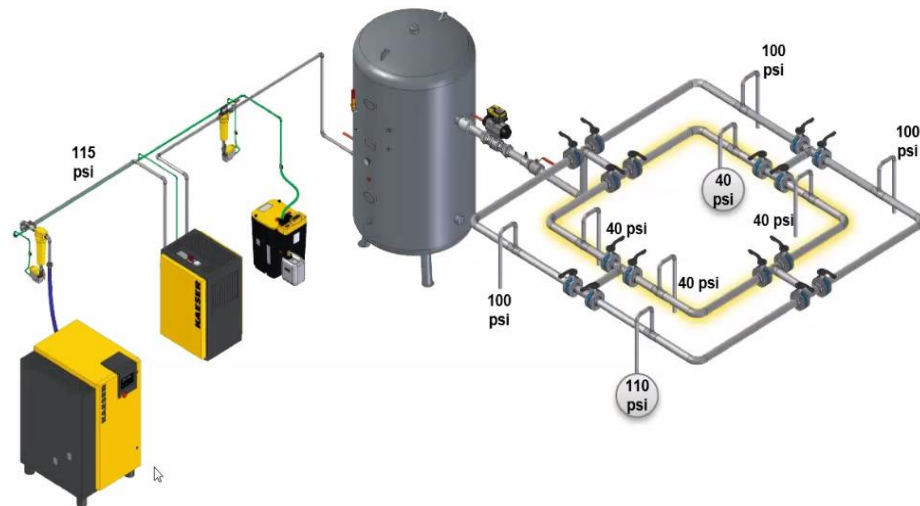


Figura 36. Red de distribución cerrada

Fuente: Carnicer, 1994.

Tabla 13

*Aplicaciones, ventajas y desventajas de las redes de distribución abiertas y cerradas*

	Red abierta	Red cerrada
Aplicaciones	<p>-Cuando los usuarios tienen un bajo consumo de aire.</p> <p>-Cuando se tiene un solo equipo que requiere una alta presión o alto consumo.</p>	<p>-Cuando el nivel de consumo de aire es medio o alto.</p> <p>-Cuando el proceso productivo no permite la interrupción en el suministro de aire.</p>
	<p>-Requiere una menor inversión inicial pues el material necesario para la instalación es menor.</p>	<p>-El mantenimiento en una sección de la red no detiene las operaciones en otros puntos de la misma.</p>
Ventajas	<p>-El flujo de aire se da en una sola dirección. Esto facilita la operación de equipo como filtros y secadores.</p> <p>-La red se puede colocar con una inclinación en la dirección del flujo para drenar los condensados que se concentran.</p>	<p>-El aire fluye por varias direcciones antes de llegar a los usuarios finales, por lo que el diámetro de las tuberías se puede reducir.</p> <p>-La presión se mantiene uniforme.</p>
Desventajas	<p>-El mantenimiento de un segmento de la red implica la parada del flujo de aire aguas abajo en el sistema de red.</p>	<p>-Alto costo inicial, pues se necesita más material y horas hombre para la instalación, la dirección del flujo cambia con la demanda puntual de aire, esto imposibilita la inclinación de tuberías para el drenado de condensados por lo que se deben utilizar otros instrumentos para tal fin.</p>

Fuente: Martínez, 2018.

### 2.2.2.3.1. Componentes de distribución de aire comprimido

➤ **Tuberías de aire comprimido:** Barria (2005), indica que el diámetro de las tuberías podrían tener desde algunos milímetros de diámetro interior hasta varios centímetros como también pueden ser de goma, plástico o metal y debería elegirse de manera que si el consumo crece más, la pérdida distintiva de presión del consumidor y el depósito no sobrepase los límites de 10 kPa (0,1 bar). También si la caída de presión supera este valor, el rendimiento del sistema estará afectada y la eficiencia se recortara considerablemente; el transporte del aire comprimido se hace por tres métodos de canalizaciones: tubería principal, secundaria y de servicio.

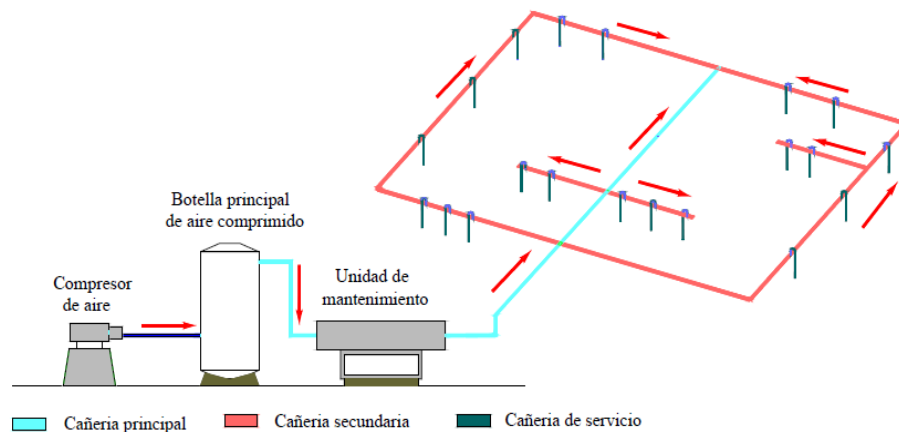


Figura 37. Tuberías para aire comprimido

Fuente: Barria, 2005.

- **Tubería principal:** Es la tubería principal que sale del conjunto de compresores y canaliza la totalidad del flujo de aire. La velocidad mayor del aire en la tubería principal es de 8 m/s. (Chérrez, 2010)

- **Tubería secundaria:** Toman el aire de la tubería principal para conectarse y ramificarse con las tuberías de servicio. La velocidad del aire en la tubería no debe sobrepasar los 8 m/s. (Chérrez, 2010)

- **Tubería de servicio:** Su función principal es surtir aire a los equipos. Es recomendable que los diámetros sean mayores de ½” en la tubería para evitar atascos, la velocidad del aire podría llegar hasta 15 m/s. (Chérrez, 2010)

Para comprobar si las tuberías están en el margen establecido de velocidad se hará el cálculo de circulación de fluido utilizando la ecuación 18 de la Norma Técnica Peruana (NTP 111.010:2003).

$$v = \frac{354*Q}{P*D^2} \quad [18]$$

Donde:

$v =$  Velocidad lineal ( $\frac{m}{s}$  )

$Q =$  Caudal ( $\frac{m^3}{h}$  )

$P =$  Presión (bar)

$D =$  Diámetro interior (mm)

Tener en cuenta que la velocidad permitida de circulación del gas en los puntos de instalación, tendrá que ser menor a 30 m/s, para que no se produzca cualquier anomalía. en el sistema de tuberías.

#### **2.2.2.4. Dimensionamiento de la red de aire comprimido**

Toasa (2014), dice que es muy importante dimensionar la red de aire comprimido como el diámetro de la tubería, la rugosidad de las paredes internas, también en el material y accesorios que conformaran esta red, ya que podrían oponer resistencia al flujo de aire comprimido y de tal manera producir pérdidas de presión.

#### 2.2.2.4.1. Presión de funcionamiento de la red

Según Toasa (2014), menciona la diferencia de presión de trabajo o presión de funcionamiento con la presión de servicio.

- **Presión de trabajo:** Referido a la presión necesaria en el área de trabajo.
- **Presión de servicio:** Es la suministrada por el compresor para alimentar a los consumidores.

Clasificación de la presión de trabajo en relación al trabajo que se va a realizar.

- **Baja presión:** Es equivalente a la presión atmosférica he incluso hasta dos veces este valor y es usado para la oxigenación de procesos de combustión, agitación de tanques con agua residual y extracción de vapores tóxicos.
- **Media presión:** Es equivalente desde 90 psi - 205 psi y se utiliza en laboratorios, Hospitales y Procesos automatizados.
- **Alta presión:** Es equivalente desde 205 psi - 600 psi y es utiliza en la tarea de soplado de botellas en PET.

#### **2.2.2.4.2. Caudal necesario para la instalación**

Toasa (2014), en las instalaciones de aire comprimido, hay una variedad de unidades consumidoras que se alimentan para poder realizar sus tareas y que en cada uno de estas se debe utilizar la proporción de aire que es dada por el fabricante, se debe tener en cuenta que el caudal que maneja la red debe ser mayor que el consumo de las unidades consumidoras, ya que el equipo usará lo primordial para realizar sus tareas y el resto tendrá que volver a la red, y se debe evitar que las cantidades de aire sean inferiores por el motivo a que se presenten deficiencias en la realización de tareas.

En la Tabla 14, Hesse (2002) comenta. “Sin considerar el grado de utilización, y se entiende que en todos los casos tiene validez el consumo indicado por el fabricante. El consumo que consta en los prospectos y en la documentación técnica suele referirse a ello, bajo condiciones de rendimiento nominal” (p.61).

Tabla 14

*Consumo medio de máquinas y herramientas con duración de la conexión de 100 %*

Unidad consumidora	Consumo de aire L/s	Unidad consumidora	Consumo de aire L/s
Taladrado 0,75 KW	13	Motor 1,4 KW	36
Taladrado 1,0 KW	18	Motor 2,4 KW	60
Taladrado 1,5 KW	27	Motor 3,5 KW	84
Taladrado 2,0 KW	35	Pistola (general)	8
Lijadora 0,75 KW	17	Máqui. elevadoras <500kg	33
Lijadora 1,0 KW	22	Martillo cincelador	8
Lijadora 1,5 KW	28	Cilindro de avance	16
Destornillador 0,3 KW	5	Destornillador percusor	15 hasta 30
Sierra circular para materiales blandos	22	Pistola de inyección	10
		Cortador de rosca	16

Fuente: Hesse, 2002.

#### 2.2.2.4.3. Cálculo del caudal o volumen necesario

- Cantidad de unidades consumidoras y consumo de aire de cada una.
- Factor de simultaneidad (funcionamiento de equipos al mismo tiempo).
- Pérdidas por desgaste de las unidades consumidoras y por fugas en la red.
- Duración de la conexión de las unidades consumidoras.

- **Duración de conexión de unidades consumidoras:** Hesse (2002) explica. “Esta duración de conexión se expresa en porcentaje y que este criterio tiene en cuenta que la mayoría de las unidades consumidoras no está en funcionamiento constantemente” (p.62). Se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15

*Duración de conexión de unidades consumidoras*

<b>Unidad consumidora</b>	<b>Duración de conexión</b>
Taladradora	30 %
Lijadora	40 %
Martillo cincelador	30 %
Mortero	15 %
Moldeadora	20 %
Pistola neumática	10 %
Máquina para alimentar piezas	80 %

Fuente: Hesse, 2002.

- **Factor de simultaneidad:** También Hesse (2002) señala. “El factor de simultaneidad también es un valor empírico. Las máquinas que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo” (p.63). Ver la Tabla 16.

Tabla 16

*Factor de simultaneidad*

<b>Cantidad de unidades consumidoras</b>	<b>Factor de simultaneidad</b>	<b>Cantidad de unidades consumidoras</b>	<b>Factor de simultaneidad</b>
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	0,80	14	0,66
7	0,77	15	0,65
8	0,75	100	0,20

Fuente: Hesse, 2002.

➤ **Volumen medio utilizado:**

$$\tilde{V}m = \sum_{i=1}^n \left( A_i * V_i * \frac{D_i}{100} * F_{Si} \right) \quad [19]$$

Donde:

i = Variable de control.

n = Cantidad de diversas unidades consumidoras.

A = Cantidad en unidades.

V = Consumo de aire comprimido por unidad consumidora en L/s.

D = Duración de la conexión en porcentaje.

FS = Factor de simultaneidad.

- **Volumen total de aire (corregido):** Hesse (2002), dice que este valor  $\tilde{V}m$ , se tiene que corregir una vez más de la siguiente manera:

$$\tilde{V} = \left[ \tilde{V}m + \left[ \tilde{V}m * \frac{Ar}{100} \right] + \left[ \tilde{V}m * \frac{Ar}{100} * \frac{Fu}{100} \right] \right] * 2 \quad [20]$$

Donde:

$\tilde{V}$  = Volumen total de aire.

$\tilde{V}m$  = Volumen medio.

Ar = Reserva para posibles ampliaciones posteriores (por ejemplo, 35 %).

Fu = Consideración de posibles fugas (por ejemplo, 10 %).

- También Hesse (2002) dice. “La duplicación (multiplicador 2) del caudal tiene la finalidad de compensar picos de consumo (que superan el consumo medio). Por práctica el consumo medio es un 20 % y un 60 % del consumo máximo de aire” (p.64).

#### 2.2.2.4.4. Cálculo del diámetro de la tubería

- **Pérdida de presión en un sistema de aire comprimido:** Toasa (2014), dice que en un correcto diseño de red puede haber una tolerable pérdida de presión del 10 % y que una de las imprudencias que se comete a la hora de usar un equipo y este no funcione correctamente es pensar que el problema puede ser la presión, acción que si se aumenta la presión podría dañar los componentes internos del equipo. Ya que el problema del mal funcionamiento podría ser el caudal y no la presión.

La caída de presión en una red de aire comprimido se presenta en primera instancia cuando se traslada a través de los equipos de preparación del aire (filtros, secadores, reguladores, etc.) y segundo cuando se traslada por la red de tuberías produciendo pérdidas por fricción debido a un diámetro malo y la pérdida es mayor cuando hay muchos accesorios.

Una manera fácil de hallar las pérdidas de presión en la red de tuberías es haciendo uso del monograma representada en la Figura 38, donde se podrá hallar la pérdida de presión en función de la longitud y diámetro de los tubos.

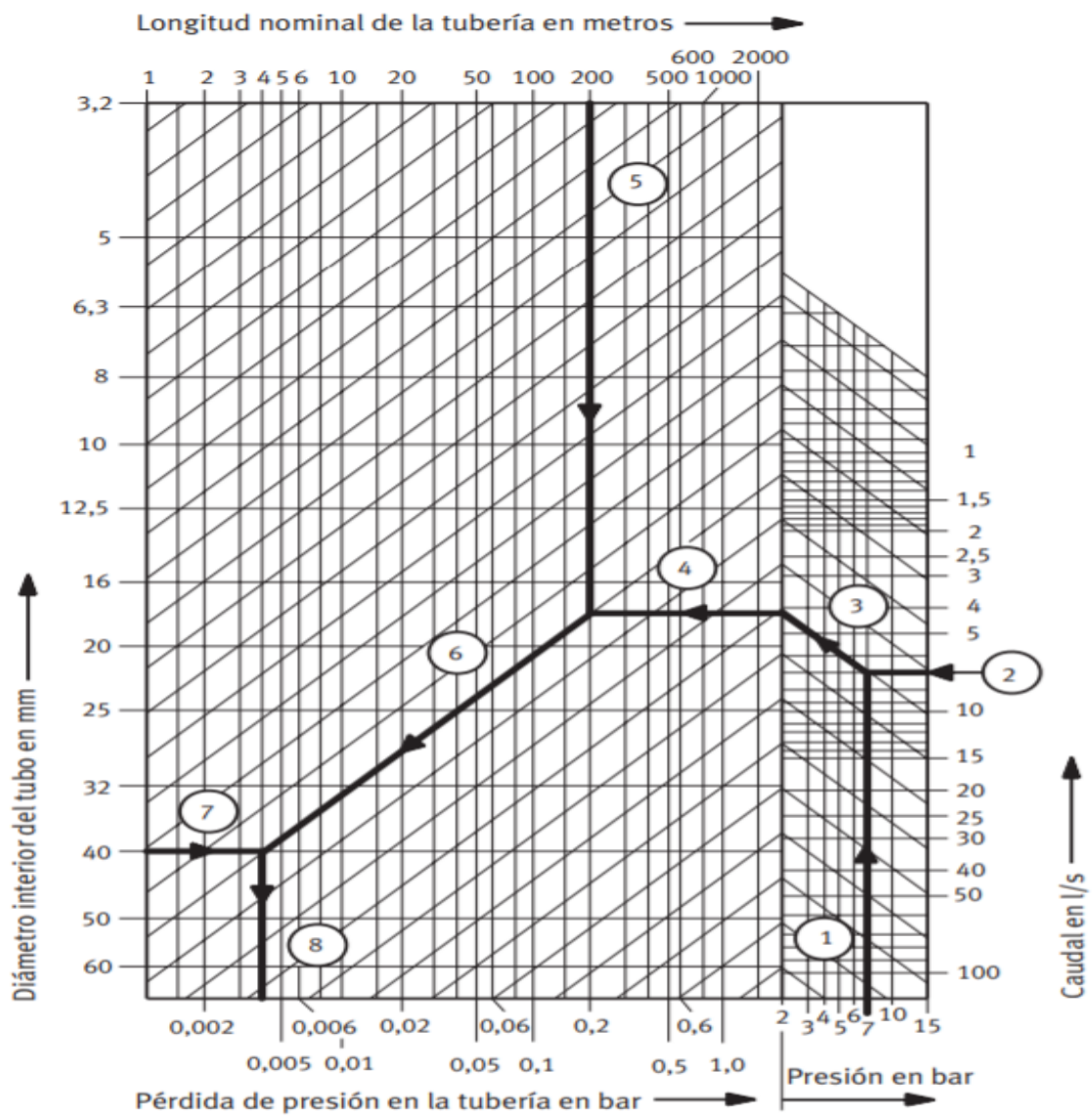


Figura 38. Nomograma para determinar la pérdida de presión en tuberías (presión = presión de trabajo)  
Fuente: Hesse, 2002.

También Hesse (2002), se sobreentiende que las válvulas, accesorios, codos y similares ofrecen una resistencia mucho mayor al caudal. Para tener en cuenta estos componentes, se calcula con una longitud equivalente (ficticia) de la tubería y el resultado se suma a la longitud real de los tubos antes de calcular o determinar gráficamente el diámetro interior. En la Fig. 39 se incluyen estas longitudes ficticias.












Longitud equivalente en metros											
Componente	Diámetro interior de la tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	250	300	400
Válvula de bola totalmente abierta 	0,3 5	0,5 8	0,6 10	1,0 16	1,3 20	1,6 25	1,9 30	2,6 40	3,2 50	3,9 60	5,2 80
Válvula de diafragma totalmente abierta 	1,5	2,5	3,0	4,5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula angular totalmente abierta 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7,5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2,0	3,2	4,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24	32
Codo R = 2d 	0,3	0,5	0,6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8
Codo R = d 	0,4	0,6	0,8	1,3	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4
Ángulo 90° 	1,5	2,4	3,0	4,5	6,0	7,5	9	12	15	18	24
Te, salida en línea 	0,3	0,4	1,0	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8
Te, salida angular 	1,5	2,4	3,0	4,8	6,0	7,5	9	12	15	18	24
Reductor 	0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	3,1	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6

Figura 39. Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios

Fuente: Hesse, 2002.

Significa que la longitud de los tubos que debe agregarse en el cálculo es la siguiente:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equiv} \quad [21]$$

$$L_{equiv} = n * j \quad [22]$$

n = Cantidad de accesorios a tener en cuenta.

j = Pérdida de presión por accesorio.

Para simplificar el cálculo se puede aplicar un valor empírico:

$$L_{Total} = 1,6 L_L \quad [23]$$

Por consiguiente, no es necesario tener cada accesorio individual y sumarlo al cálculo de la longitud real.

➤ **Diámetro de tubería:** Para ello, Hesse (2002) comenta. “Puede utilizarse el nomograma de la Fig. 40, incluyendo los puntos (1) hasta (7). El punto de intersección con la escala D en (8) indica el diámetro interior del tubo” (p.65). Para obtener este resultado también se puede utilizar el nomograma de la Fig. 38.

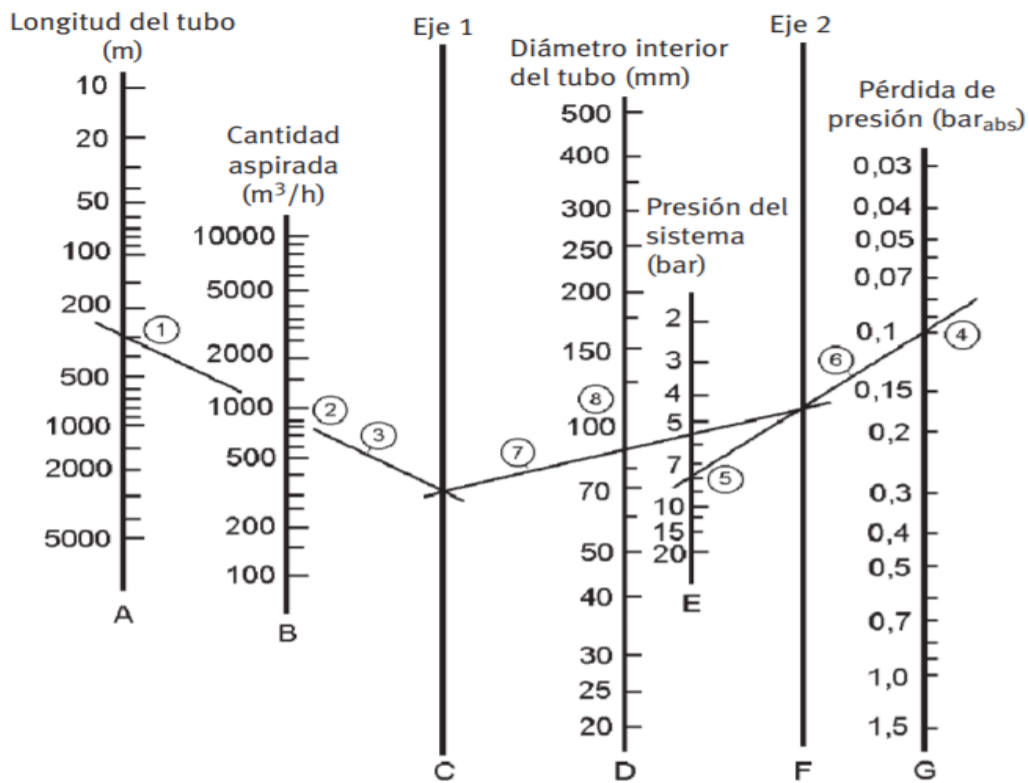


Figura 40. Nomograma para determinar tuberías para aire comprimido ( $1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,2778 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ )  
Fuente: Hesse, 2002.

Pero también Hesse (2002), indica que se puede utilizar una fórmula para obtener el diámetro interior del tubo lo más aproximado:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * \tilde{V}^{1,85} \frac{L_{Total}}{\Delta p * P1}} \quad [24]$$

Donde:

d = Diámetro interior del tubo en metros.

P1 = Presión de funcionamiento en bar.

$\Delta p$  = Pérdida de presión en Pa (no debe ser superior a 0,1 bar).

L<sub>total</sub> = Longitud nominal de la tubería en metros (valor corregido).

$\tilde{V}$  = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

#### **2.2.2.4.5. Selección del material de los tubos**

En las instalaciones internas industriales se utilizará los siguientes tres materiales; acero, cobre y aluminio, pero no es recomendable el polietileno (PE). La selección del material en redes de aire comprimido se hará en función de:

- El lugar en que se ubicará la tubería (condiciones de entorno)
- Calidad del aire comprimido (tuberías resistentes a la corrosión).
- Dimensiones de los tubos (diámetro necesario).
- Presión (poca pérdida de presión; máximo 0,1 bar); fugas mínimas.
- Costos del material y disponibilidad en el mercado.
- Trabajo de montaje (uso de herramientas y materiales especiales).

➤ **Selección del material de la tubería en función del diámetro**

- En las tuberías de polietileno y acero no se especifican límites; pero deberán cumplir con la NTP 111.010: 2003.
- El diámetro no deberá exceder de 29 mm en las tuberías de cobre, para las tuberías metálicas el diámetro no deberá ser inferior a 12,7 mm (1/2 pulg).

Según Hesse (2002), en la Tabla 17 y 18 se hace una comparación de las características técnicas de los tipos de tuberías.

Tabla 17

*Características técnicas de tubos para redes de aire comprimido*

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
Ejecución	Negro o cincado	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado.	Sin costura o soldado.	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos.	Recubierto o pintado	Material blando enrollable hasta 100 metros. Material duro en unidades de hasta 3 metros
Material	Por ejemplo, St 35	Sin costura St 00 Soldado St 33.	p.ej. WST.43 01,4541,457 1	Cobre	Aluminio, p.ej. Resistente al agua salada.	Poliamida.
Dimensiones	10.2 hasta 555,8mm	1/8 hasta 6 pulgadas.	6 hasta 273 mm.	6 hasta 22mm suave, 6 hasta 54mm duro, 54 hasta 131 mm duro.	12 hasta 40 mm.	12 hasta 63 mm
Presiones	12,5 hasta 25 bar	10 hasta 80 bar	Hasta 80 bar y en parte presión superior	Según ejecución 16 hasta 140 bar.	14 bar (a -30 C hasta 30 C)	14 bar (a -25C hasta 30 C).
Extremo del tubo	Liso	Cónico, liso o rosca	Liso	Liso	Liso	Liso
Uniones	soladura	Racores	Soldadura (con gas protector)	Roscas, soldaduras, racores.	Racores enchufables reutilizables.	Racores enchufables reutilizables.

Fuente: Hesse, 2002.

Tabla 18

*Ventajas y desventajas de tubos neumáticos de metal y de material sintético*

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
Ventajas	Uniones estancas; posibilidad de doblar.	Disponibilidad de números racores y accesorios; posibilidades de doblar.	Uniones estancas, ausencia de corrosión, posibilidad de doblar, para máximas calidades de aire (p.ej. En aplicaciones técnico medica), baja rugosidad en el interior, caídas de presión bajas.	Ausencia de corrosión, posibilidad de doblar, baja rugosidad en el interior de tubo caída de presión mínima.	Resistencia a roturas, ausencia de corrosión, pared interior lisa, ligero, fácil de instalar.	Ausencia de corrosión, flexible, ligero, resistente a golpes, exento de mantenimiento, instalación sencilla, conexiones sencillas entre tubos flexibles.
Desventajas	Corrosión (tubos negros) montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plásticos o de aluminio.	Corrosión, en parte también en tubos cincados, grandes resistencias al flujo y resistencias por fricción; fugas después de uso prolongado, montaje difícil debido a la necesidad de cortar rosca y soldar; montaje por operarios experimentados.	Montaje únicamente por operarios experimentados; oferta limitada de racores y accesorios; piezas costosas.	Montaje por operarios experimentados y especializados, la soldadura requiere de flama abierta y buena calidad para evitar fugas. Posibilidad de formación de calcantita. La soldadura es susceptible a ciclos térmicos.	Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero; alto costo de material.	Poca longitud, menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero. Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la presión. Posibilidad de cargas electrostáticas. gran coeficiente de dilatación térmica (0.2mm/ °C).

Fuente: Hesse, 2002.

## ➤ DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

El diseño debe incluir la ubicación y trazado de la red de tuberías, Hesse (2002) comenta. “Los elementos de la instalación a partir de los reguladores se diseñarán considerando la presión máxima a que pueden estar sometidos teniendo en cuenta el valor de las sobrepresiones” (p.65). Definido el diámetro, se debe especificar el espesor de pared, el cual debe ser  $< 3,9$  mm (2 pulgadas).

Tabla 19

*Diámetro y espesor de tuberías de acero*

Diámetro nominal		Espesor mínimo de la pared (mm)
mm	pulgadas	
13,7	1/4	2,2
21,3	1/2	2,8
26,7	3/4	2,9
33,4	1	3,4
42,2	5/4	3,6
48,3	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,7
60,3	2	3,9

Nota: Elaboración propia.

➤ **SOPORTES, ANCLAJES Y GANCHOS**

En cuanto a los soportes, Hesse (2002) afirma. “Las tuberías deben ser soportadas con soportes colgantes, localizados en intervalos para prevenir o amortiguar una vibración excesiva. La tubería debe ser anclada para prevenir esfuerzos indebidos sobre los equipos conectados” (p.66). El espaciamiento de los soportes en la tubería no debe ser mayor que el indicado en la Tabla 20.

Tabla 20

*Soportes de tuberías*

Tamaño nominal de la tubería rígida (pulgadas)	Distancia entre soportes		Tamaño nominal de la tubería flexible (pulgadas)	Distancia entre soportes	
	m	pies		m	pies
1/2	1,85	6	1/2	1,25	4
3/4 o 1	2,45	8	5/8 o 3/4	1,85	6
1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> o mayores (horizontal)	3	10	7/8 o 1	2,45	8
1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> o mayores (vertical)	Una en cada nivel o piso				

Nota: Elaboración propia.

## ➤ PRUEBA DE HERMETICIDAD

Finalizada la construcción del sistema de tuberías, Hesse (2002) comenta. “Deberá ser probada para verificar su hermeticidad, utilizando como fluidos el aire o cualquier gas inerte, en ningún caso, oxígeno o un gas combustible” (p.67). La prueba de presión deberá ser de 1,5 veces la presión máxima por un lapso no menor 2 horas, y según la NTP 399.012-1974 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado.

### 2.2.2.4.6 Especificación técnica de bridas y válvulas

- **Los accesorios y bridas para tuberías de acero:** Todos los accesorios roscados según, Hesse (2002) afirma. “Deberán tener rosca cónica conforme a las normas ISO 7.1, ASME B1.20.1. Para asegurar la estanqueidad de la rosca, se utilizará un sello de fibra no orgánica, cinta de teflón o sello líquido” (p.68). El asbesto, el cáñamo u otras fibras orgánicas están prohibidos.

- **Válvula de cierre manual:** Hesse (2002) explica. “Deberán ser aprobadas para su uso con gas. La tecnología y los materiales de las válvulas deberán estar de acuerdo a la condición de trabajo, asimismo deberá estar en concordancia con el de la tubería en la cual se instala, también deberán ser fabricadas con las normas ISO 14313, ASME B 16.4” (p.69). Las características que presenten cada válvula se deberán marcar de acuerdo a la norma técnica MSS SP-25.
- **Uso de válvulas:** Hesse (2002) afirma. “Se deberá instalar una válvula de cierre manual aguas arriba de cada equipo de consumo, y una válvula de cierre general, deberá ser instalada en el límite municipal, fuera del predio del cliente o en la línea de servicio del distribuidor” (p.70).

Tabla 21

*Válvulas manuales de cierre*

	<b>Instalaciones aéreas</b>	<b>Subterráneas</b>
<b>Presión máxima</b>	10 bar	10 bar
<b>Material</b>	Acero /Fundición/Aleación de cobre	Acero o PE
<b>Cierre</b>	< ø 80mm	¼ de vuelta
	> ø 80mm	¼ de vuelta o varias
<b>Manija</b>	Fija	Removible

Fuente: Elaboración propia.

Es recomendable colocar las válvulas a lo amplio de la red, sin exceder ya que generan pérdidas, para que de tal forma permita dar mantenimiento.

Requisitos para una buena selección de conexiones. (Martínez, 2018)

- Los accesorios deben ser del mismo material y presión que las tuberías.
- Las uniones roscadas deben contar con un sellador que minimice las fugas.
- Si se quiere cambiar la dirección se recomienda el uso de codos redondeados.
- No hacer el uso frecuente del acoplamiento de T, y si se hace uso de ello es recomendable que la parte recta de la T este en la dirección del flujo.

### 2.3. Definición de términos

- **Accesorio (fitting):** En un sistema de tuberías es usado como un elemento de unión, tal como un codo, una curva de retorno, una "tee", una unión, un reductor con rosca en sus extremos ("bushing"), una cruz, o una tubería corta con rosca en sus extremos ("nipple"). (Hesse, 2002)
- **Aguas abajo:** Se entiende por a la expresión que ubica a un determinado objeto que se encuentra instalado después del punto de referencia en el sentido de la circulación del fluido. (Martínez, 2018)
- **Aguas arriba:** Se entiende por a la expresión que ubica a un determinado objeto que se encuentra instalado antes del punto de referencia en el sentido.
- **Ramal (tubería lateral):** Parte de un sistema de tuberías que conduce gas desde la tubería principal de la instalación interna a un equipo de consumo.
- **válvula de alivio por venteo:** Un artefacto diseñado para abrirse a fin de prevenir un aumento de la presión del gas seco en exceso, de un valor especificado debido a una emergencia. (Martínez, 2018)
- **válvula unidireccional (back check):** Una válvula que está normalmente cerrada y permite el flujo en sólo una dirección. (Hesse, 2002)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

La investigación presenta un tipo de estudio básico, es decir, que el desarrollo del estudio se limita en el análisis de los fundamentos teóricos establecidos, permaneciendo sobre ellos en el desarrollo.

##### **3.1.2. Nivel de investigación**

La investigación presenta un nivel de estudio descriptivo, dado que se realizará una caracterización de las variables de estudio de acuerdo a su contexto real, sobre el cual se desarrolla el análisis a partir del que se elabora la propuesta como solución a tal realidad problemática. Dado que el estudio considera la realización de una propuesta de mejora, también presenta un nivel prospectivo.

### **3.1.3. Diseño de investigación**

La investigación, dado que se centra en la realización de una propuesta pero que no involucra la modificación del contexto de estudio, presenta un diseño no experimental.

Por otro lado, considerando la temporalidad de ejecución del estudio, es transversal, el cual será ejecutado en un único momento en el tiempo.

## **3.2. Población y muestra de estudio**

### **3.2.1. Población**

La población está comprendida por el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

### **3.2.2. Muestra**

El análisis se realizó tomando la totalidad de evaluación del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

### **3.3. Variables**

#### **3.3.1. Identificación de las variables**

##### **a. Variable independiente**

- Sistema de aire comprimido.

##### **b. Variable dependiente**

- Procesos derivados del uso del sistema de aire comprimido.

### **3.3.2. Caracterización de las variables**

#### **a. Variable independiente: Sistema de aire comprimido**

Dimensión 1: Sistema de suministro

- Compresor
- Post-enfriador
- Tanque receptor
- Filtro de aire
- Secador

Dimensión 2: Sistema de distribución

- Purgador
- Válvula distribuidora
- Unidades de mantenimiento
- Área de trabajo

**b. Variable dependiente: Procesos derivados del uso del sistema de aire comprimido**

- Pruebas y medición de compresión.
- Trabajo de montaje en una instalación de un equipo.
- Operaciones de limpieza de módulos o áreas de trabajos.
- Simulación de sistema neumático en módulos o banco de pruebas.
- Prensas, mesas elevadoras y otros equipos neumáticos.

**3.4. Técnicas e instrumentos de estudio**

**3.4.1. Técnicas**

- La técnica a emplear es la observación directa y toma de datos recolectados en el campo.
- Registro fotográfico, requiriendo la toma de imágenes de campo.

### **3.4.2. Análisis descriptivo**

El análisis descriptivo permite administrar, manejar y resolver las acciones dirigidas a la inspección de procesos para el diseño del sistema de aire comprimido. Tales procesos se derivan en diferentes fuentes, observaciones, monitoreo, reportes.

### **3.4.3. Trabajo de campo**

- Identificar el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, a fin de determinar sus condiciones iniciales.
- Recopilar información de campo, verificando las necesidades de mejora.
- Analizar la propuesta de mejora de Sistema de Aire Comprimido, y evaluar la viabilidad técnica para su diseño, como efectos generados a partir de ella.

### **3.4.4. Trabajo de gabinete**

- Homogeneización de los datos de campo, traducidos en el informe final.
- Evaluación de la propuesta de sistema de aire comprimido.

### **3.4.5. Materiales y equipos**

- Registro fotográfico.
- Cámara fotográfica digital.
- PC portátil.

### **3.4.6. Equipos informáticos del proceso de datos**

- Microsoft Excel, para la realización de cálculos.
- Microsoft Project, para realizar el cronograma.
- SolidWorks, para realizar el diseño del sistema
- AutoCAD, para realizar los planos.
- FluidSim, para la simulación del sistema neumático didáctico.

### **3.5. Procesamiento de datos**

Los datos serán procesados por medio del uso del programa Microsoft Excel, con el cual se realizarán cálculos.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

#### **4.1. Determinación del punto de rocío en la localidad**

Para poder determinar el punto de rocío se aplicará primero la ecuación 11, con la finalidad de determinar el contenido de agua en el aire, pero antes se necesita saber la humedad relativa de la localidad, presión absoluta total (bar) y la temperatura en la localidad.

##### **4.1.1. Humedad relativa de la localidad**

Se conoce que la humedad relativa en la ciudad de TACNA se obtiene de los datos proporcionados por la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), ver el Anexo A. Como se dispone de los datos correspondientes a la humedad relativa desde años anteriores se optará por establecer un valor promedio de los últimos 5 años. Siendo la humedad relativa en la ciudad de Tacna de 80 %.

#### 4.1.2. Temperatura en la localidad

Particularmente para la obtención de la temperatura de la ciudad de Tacna, se procede de la misma forma que para la obtención de la humedad relativa, obteniendo así una temperatura promedio utilizando los datos que se presentan en el Anexo A.

Obteniendo para la ciudad de Tacna una temperatura promedio de: 295 K (22 °C).

- **Presión de saturación:** Para determinar la presión de saturación se utilizará la temperatura de 22 °C, y la Tabla 2. Obteniendo un valor de: 26,42 mbar.

#### 4.1.3. Cálculo de la cantidad de agua

Utilice la ecuación 11.

$$x = 0,622 * \frac{H_{rel} * P_s}{P - \phi_{rel} * P_s} * 10^3$$
$$x = 0,622 * \frac{0,80 * 0,02642}{8 - 0,80 * 0,02642} * 10^3$$
$$x = 1,6 \text{ g/kg}$$

#### **4.1.4. Punto de rocío en la ciudad de Tacna**

Casi toda la instalación de aire comprimido hace el uso de las presiones medias, con la finalidad de calcular el punto de rocío y tomando en cuenta las pérdidas de presión que se podrían presentar en la instalación de aire comprimido se utilizará una presión de trabajo de 8 bar, y empleando el diagrama de Mollier de la Figura 3, se obtiene el Punto de Rocío que se encuentra a 290 K (17 ° C).

#### **4.2. Calidad de aire para la red**

Como se sabe la instalación del sistema de aire comprimido tiene la finalidad de proporcionar energía para el funcionamiento de los módulos didácticos y entre otros trabajos que se realizarán en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas, por lo cual los cilindros neumáticos son los consumidores de aire comprimido que se encuentran con mayor frecuencia en los trabajos a realizar en dicho laboratorio, por tal motivo, se podrá seleccionar la calidad de aire que necesitan dichos consumidores.

#### 4.2.1. Determinación de la calidad de aire para la red

En base a las Tablas 5 y 6, se determina la calidad de aire de nuestro sistema de aire comprimido, sabiendo que el laboratorio va trabajar con cilindros neumáticos, válvulas, pero también existirán electroválvulas, las mismas que necesitarán una calidad de aire igual a la de un regulador fino de presión, ver la siguiente Tabla 22.

Tabla 22

*Calidad de aire requerido para los laboratorios*

	Regulador fino	Calidad de aire
Cuerpo sólido ( $\mu\text{m}$ )	5	3
Punto Máximo de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	+3	4
Contenido máximo de aceite residual ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	1	3

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Presión de funcionamiento de la red

Los principales elementos que conforman las unidades consumidoras en el sistema de aire comprimido, entre otros equipos que son utilizados para el proceso productivo y demostrativo que se realizarán en el laboratorio, se elegirá una presión media, que abarca desde 6,2 bar (90 psi) hasta 14 bar (205 psi).

Los equipos neumáticos que trabajaron en el sistema de aire comprimido, lo hicieron a una presión promedio de 7 bar (102 psi).

Por lo tanto, los distintos reguladores de presión que formaron parte del sistema trabajaron con un excedente de presión de por lo menos 1 bar, para nuestro sistema de aire comprimido vimos conveniente disponer de 8 bar (117 psi), con el objetivo de que el equipo realice la regulación con presiones que van dentro de lo recomendado a más de que se pueda recompensar las pérdidas de presión que podrían existir en el sistema por distintos medios.

#### **4.4. Selección de la unidad de mantenimiento**

Para una mejor elección de las unidades de preparación de aire se hará en base a la calidad de aire necesaria para el sistema de aire comprimido y al tipo de filtración óptima, la Tabla 5 y 8 ayuda para una selección óptima, en el cual a continuación se describirá la red en tres tipos con sus respectivas unidades.

➤ **Red primaria:** Conformada por un pre filtro modelo F46KD y un compresor de modelo AS25 del tipo tornillo lubricado de una etapa, ver Anexo I y L, que hace conexión a un tanque reservorio vertical modelo T11-350, en el cual el aire comprimido que atraviesa esta red primaria tiene un módulo de tratamiento de aire completo, compuesto por un secador de modelo KRYOSEC TCH 33 del tipo refrigerativo con sistema de filtración integrado con una clase 3 según ISO 8573-1 y seguidamente a ello está el post filtro de modelo F46KE para aceite coalescente extrafino, ver el anexo D.

La reducción de la temperatura del aire comprimido entregado permite quitar la condensación, garantizando un funcionamiento efectivo del secador refrigerativo, y así mismo también la temperatura más baja del aceite reduce el desgaste mejorando la eficacia energética.

➤ **En la red secundaria:** Se instalará un dispositivo de drenaje llamado Bekomat 32 (drena el condensado) y junto a ello irá conectado otro dispositivo para separar el agua / aceite con fines ambientales o leyes locales, el cual lleva de nombre Owamat (separador de agua/ aceite por medio de gravedad), ver el anexo B y C.

➤ **En la red de servicio:** Por temas económicos solo se puso separadores de agua con purga automática. También en esta red están las unidades de mantenimiento, en la primera toma fue el tipo FRL (filtro, regulador de presión y lubricador), porque en esta toma de aire se hicieron las simulaciones de bancos de pruebas para los estudiantes y en las otras tres tomas restantes el tipo FR, ver Anexo E, F y G.

#### **4.5. Trazado de la red de aire comprimido**

El trazado seleccionado para la red de tuberías del laboratorio es el de anillo abierto con 4 tomas en forma de cuello de cisne con un radio de 100 mm de curvatura, teniendo como ventaja una menor inversión inicial en la instalación y gracias a que el flujo va en una sola dirección los accesorios FRL no sufrirán daños, y se puede hacer una inclinación en la red para facilitar el drenado, ver el PLANO 5.

#### **4.6. Cálculo del caudal para la red**

Es necesario saber el consumo de cada una de las unidades consumidoras para hallar el caudal necesario que necesita el sistema de aire comprimido.

#### 4.6.1. Consumo de equipos neumáticos

Como se mencionó en el capítulo anterior en la Tabla 14, las herramientas neumáticas más comunes que se harán uso en el laboratorio, así como su presión de trabajo y caudal de aire comprimido de funcionamiento se resume en la Tabla 23.

Tabla 23

*Consumo de equipos neumáticos*

Cant.	Equipo	Caudal L/S
4	Pistolas de limpieza 120 L/min	6
6	Actuadores de simple efecto 6 bar	2
6	Actuadores de doble efecto	4
2	Pistola de pintado de 10 bar	8
2	Cortadora neumática de disco 8 bar	1,5
1	Lijadora neumática 9000 rpm de 8 bar	1,5
1	Mesa elevadora <500kg	30
1	Sierra neumática circular 8 bar	2

Fuente: Elaboración propia.

- **Factor de simultaneidad (F.S):** En el sistema hay un total de 23 dispositivos de consumo, por ese motivo se hará una interpolación para hallar el valor exacto del factor de simultaneidad de la Tabla 16; del cual se obtiene 0,59 como resultado.

- **Factor de utilización (F.U):** El caso más crítico es cuando las herramientas que más consumen aire comprimido en una situación de máximo rendimiento están en funcionamiento. Algunos equipos que no se encuentren en la Tabla 15, se seleccionará el factor de uso a simple criterio de uso en el sistema. Se estima que el factor de utilización de las herramientas por puesto de trabajo es la siguiente.

Tabla 24

*Factor de uso*

Cantidad	Equipos	Factor de uso
4	Pistolas de limpieza 120 L/min	10
6	Actuadores de simple efecto 6 bar	60
6	Actuadores de doble efecto	60
2	Pistola de pintado de 10 bar	10
2	Cortadora neumática de disco 8 bar	30
1	Lijadora neumática 9000 rpm de 8 bar	40
1	Mesa elevadora < 500 kg	10
1	Sierra neumática circular 8 bar	30

Fuente: Elaboración propia.

- **Volumen medio utilizado:** El caudal de aire necesario para satisfacer las necesidades del local, viene dado por la ecuación 19.

$$\tilde{V}m = \sum_{i=1}^n * \left( A_i * V_i * \frac{D_i}{100} * F_{Si} \right)$$

Tabla 25

*Consumo de volumen medio utilizado*

Cantidad	Equipo	Caudal L/s	Consumo l/s	Simultaneidad	F. Uso	$\tilde{V}m$
4	Pistolas de limpieza 120 L/min	6	24	0,59	10	1,4
6	Actuadores de simple efecto 6 bar	2	12	0,59	60	4,2
6	Actuadores de doble efecto	4	24	0,59	60	8,5
2	Pistola de pintado de 10 bar	8	16	0,59	10	0,9
2	Cortadora de disco 8 bar	1,5	3	0,59	30	0,5
1	Lijadora 9000 rpm de 8 bar	1,5	1.5	0,59	40	0,4
1	Mesa elevadora menor a 500kg	30	30	0,59	10	1,7
1	Sierra circular 8 bar	2	2	0,59	30	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Total $\tilde{V}m$	$18 \frac{L}{s}$
--------------------	------------------

- **Volumen total de aire (corregido):** Para tener en cuenta las posibles ampliaciones de la instalación ( $Ar = 30$ ) y las posibles fugas ( $Fu = 10$ ), el caudal anterior se corrige mediante la ecuación 20.

$$\tilde{V} = \left[ \tilde{V}m + \left[ \tilde{V}m * \frac{Ar}{100} \right] + \left[ \tilde{V}m * \frac{Ar}{100} * \frac{Fu}{100} \right] \right] * 2$$

$$\tilde{V} = \left[ 18 + \left[ 18 * \frac{30}{100} \right] + \left[ 18 * \frac{30}{100} * \frac{10}{100} \right] \right] * 2$$

$$\tilde{V} = 47,88 \frac{L}{seg} = 172,36 \frac{m^3}{h}$$

$$\tilde{V} = 2,87 \frac{m^3}{min} = 101,45 \text{ cfm}$$

#### 4.7. Selección del compresor

El consumo de aire que requiere la red es relativamente medio, con lo cual la mayoría de los compresores que se encuentran en el mercado pueden cubrir las necesidades requeridas, por lo que sucede la necesidad de pre seleccionar el compresor en función del caudal y presión de funcionamiento.

- **Pre selección del compresor:** En el Anexo H, se determinan los tipos de compresores que mejor se ajustan al caudal y presión que requiere el sistema de aire comprimido. Por lo cual, el enfoque se dará en el compresor tipo pistón y de tornillo, ya que ambos compresores son los más aptos, por lo cual, se analiza estos dos tipos en la siguiente Tabla 26.

Tabla 26

*Características del compresor tipo pistón y tornillo*

	Compresor tipo pistón	Compresor tipo tornillo
Aire producido	Usa el 75 % del aire aspirado y es decreciente por que el continuo rozamiento de los pistones produce un desgaste, ya que consume la misma energía eléctrica, produciendo menos aire.	Usa el 95 % del aire aspirado, porque la tecnología rentabiliza el aire aspirado , ahorrado ese porcentaje en costo energético. Y el aire producido es igual al primer día ya que al carecer sus alabes de rozamiento no existe desgaste produciendo siempre el mismo aire.
Marcha en vacío	Arranque – paro	Marcha en vacío, ya que podemos regular el tiempo de marcha en vacío, (funcionamiento del compresor sin que haya producción de aire): ahorra arranques del motor, abaratando así el coste de luz.
Nivel sonoro	85-90 dB(A)	62-70 dB(A); La ausencia de rozamiento en los alabes del grupo tornillo, el menor número de arranques, la carcasa insonorizante, menor vibración, nos reduce el nivel sonoro.
Funcionamiento	50 % en carga y 50 % parado, debido a que limita el tiempo de funcionamiento debido a su necesidad de descansar para refrigerarse, estos compresores que no se detienen, son muy susceptibles de anomalías por la temperatura.	Hasta el 100 % en carga, ya que este tipo nos permite largos periodos de funcionamiento sin descanso ya que poseen un circuito de refrigeraciones aceite. Esto nos permite rentabilizar todo el rendimiento que el compresor puede producir.
Protección	Térmico motor principal	Térmico motor principal, Alta temperatura, ya que incorpora múltiples protecciones, reduciendo anomalías, ahorrándonos así costosas reparaciones.
Temperatura final del aire	75 °C + temperatura ambiente	20 °C + temperatura ambiente, ya que incorporan un refrigerador de aire que enfría el aire en la salida, ayuda en la posterior condensación de agua.
Panel control	Sin panel control	Con panel control, gestiona las funciones del compresor, ofreciendo la información para la correcta utilización y mantenimiento adecuado.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Elección final del compresor:** Para la selección final del compresor presentada en el Anexo I, básicamente se basa en dos parámetros que son el caudal que suministra y la presión de trabajo, por lo cual, el más apto sería el compresor tipo tornillo lubricado por las características ya mencionadas.

Cabe mencionar que el compresor seleccionado está compuesto con los siguientes equipos de tratamiento de aire que son, un pre filtro para la retención de partículas, un secador refrigerativo, un tanque de almacenamiento y un post filtro para los residuos de aceite. En la Tabla 27 se muestra las ventajas del compresor.

Tabla 27

*Ventajas del compresor seleccionado*

VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
Mínimo volumen	-Diseño ideal para ambientes reducidos o para inclusión en una línea de producción.
Fácil transporte	-Gracias a sus reducidas dimensiones y a la posibilidad de elevación por eleva- pallets.
Sencillo mantenimiento, rápido y económico	-Fácil acceso al interior para sustituir el filtro de aceite, filtro separador y filtro de aire.
Nivel sonoro más bajo del mercado	-Obtenido gracias al especial diseño de los elementos refrigerantes y a otras soluciones dirigidas a reducir la emisión del ruido.
Lista para su uso	-La máquina está perfectamente preparada para su puesta en marcha, además cada una de ellas ha sido exhaustivamente probada previamente.

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la selección, ver el Anexo I, L y M, se optó por adquirir un compresor de tornillo lubricado de una etapa con un control de capacidad Dual (Carga-vacío-parada diferida), de la marca KAESER modelo AS 25, por tratarse de un equipo que mejor se adapta a las necesidades requeridas y se trata de una marca confiable con un precio cómodo y en la Tabla 28 se puede ver sus características.

Tabla 28

*Características del compresor seleccionado*

Poten. HP - kW	Aire real m <sup>3</sup> /min - cfm	Volts/ hz	Presión (bar)	Dimensiones L*H*A	Conexión BSP	dB(A)	Peso (kg)
25 - 18,5	3,40 - 120	440 vac-3ph-60	5,5 - 11	800*1110*1530	1 1/4''	69	505

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Detalles del compresor modelo AS 25**

- Unidad compresora de perfil sigma.
- Sigma control 2 opcional.
- Los ahorradores de energía: Motores IE3.
- Ahorro gracias a la facilidad de mantenimiento.

## 4.8. Cálculo del diámetro de la tubería

### 4.8.1. Cálculo del diámetro interior del tubo principal

- **Determinación de las pérdidas por tubería:** Debido a la rugosidad de la tubería, accesorios, se dan estas pérdidas. En este caso, primero se calculará una longitud equivalente (ficticia), con la ecuación 23, debido a que no se tiene el diámetro interior del tubo.

$$L_{Total} = 1,6 * L_L$$

$$L_L = 4,5 \text{ m}$$

$$L_{Total} = 1,6 * 4,5$$

$$L_{Total} = 7,2 \text{ m} \quad \text{Valor empírico}$$

- **Cálculo del diámetro interior:** Como se sabe la tubería principal es la que sale desde el compresor, y canaliza la totalidad del caudal de aire. Se utilizó la ecuación 24 para el cálculo de este diámetro, teniendo en cuenta que este valor es un aproximado, por la razón que se tomó una longitud ficticia. Luego se

encuentra un caudal real, con longitud equivalente real ya seleccionando la pérdida de los accesorios con el diámetro tentativo encontrado anteriormente.

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * \tilde{V}^{1,85} \frac{L_L}{\Delta p * P1}}$$

Datos:

$$\tilde{V} = 0,047 \frac{m^3}{s}$$

$$P = 8 \text{ bar} = 8 * 10^5 Pa$$

$$\Delta P = 0,015 \text{ bar} = 0,015 * 10^5 Pa \text{ (No debe ser superior a 0,1bar)}$$

Entonces, según la ecuación 24 se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,047^{1,85} \frac{7,2}{(0,015 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,0309 \text{ m}$$

$$d = 30,9 \text{ mm} \text{ Este es un diámetro aproximado.}$$

- **Cálculo del diámetro interior real:** Se encuentra la longitud total real utilizando la ecuación 21, mediante la ecuación 22 se encuentra la longitud equivalente; y para obtener las pérdidas por accesorios se puede encontrar según la Figura 39.

Ahora en la Tabla 29, se tiene, según la Figura 39, las pérdidas por accesorios con diámetro de tubería de 30,9 mm.

Tabla 29

*Longitudes equivalentes de los accesorios (tubería principal)*

Ítem	Cantidad	Accesorio	Longitud equivalente (m)
1	01	Válvula esférica	0,38
2	02	Codos 90° de $r= 2d$	0,35
3	01	Pieza en T	1,9

Fuente: Elaboración propia.

Según la ecuación 22 se tiene:

$$L_{equiv} = n * j$$

$$\sum_{i=1}^n L_{equiv} = (1 * 0,38 + 2 * 0,35 + 1 * 1,9) = 2,5 \text{ m}$$

Reemplazando a la ecuación 21:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equiv}$$

$$L_{Total} = 4,5 + 2,5 = 7 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 24:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,047^{1.85} \frac{7}{(0,015 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,03181 \text{ m}$$

$$d = 31,81 \text{ mm} = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

El diámetro a utilizarse en la tubería principal es de 31,81 mm (1 1/4 pulg).

#### 4.8.2. Cálculo del diámetro interior de la tubería secundaria

- **Determinación de las pérdidas por tubería:** El diámetro interior del tubo del anillo se calcula de la misma manera que el diámetro de la tubería principal, con la ecuación 23.

$$L_{Total} = 1,6 * L_L$$

$$L_L = 22 \text{ m}$$

$$L_{Total} = 1,6 * 22$$

$$L_{Total} = 35,2 \text{ m} \quad \text{Valor empírico}$$

Aplicando la ecuación 24 se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * \tilde{V}^{1,85} \frac{L_L}{\Delta p * P1}}$$

$$\tilde{V} = \left(\frac{0,047}{2}\right) \frac{m^3}{s} = 0,023 \frac{m^3}{s}$$

$$P = 8 \text{ bar} = 8 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0,065 \text{ bar} = 0,065 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,023^{1,85} \frac{35,2}{(0,065 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,02516 \text{ m}$$

$d = 25,16 \text{ mm}$  Este es un diámetro aproximado.

- **Cálculo del diámetro interior del anillo real:** Ahora en la siguiente Tabla 30, se tiene las pérdidas por accesorios con diámetro de tubería de 25,16 mm.

Tabla 30

*Longitudes equivalentes de los accesorios (tubería secundaria)*

Ítem	Cantidad	Accesorios	Longitud equivalente (m)
1	02	válvula esférica	0,34
2	03	Codos 90° de $r= 2d$	0,28
3	04	Pieza en T	1,44
4	02	Reductor de $2d$ a $d$	0,48

Fuente: Elaboración propia.

Según la ecuación 22 se tiene:

$$L_{equiv} = n * j$$

$$\sum_{i=1}^n L_{equiv} = (2 * 0,34 + 3 * 0,28 + 4 * 1,44 + 2 * 0,48 = 8,24 \text{ m})$$

Reemplazando e la ecuación 21:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equiv}$$

$$L_{Total} = 22 + 8,24$$

$$L_{Total} = 30,24 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 24 se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,023^{1.85} \frac{30,24}{(0,065 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,02440 \text{ m}$$

$$d = 24,40 \text{ mm} = 1 \text{ pulg}$$

El diámetro a utilizarse en la tubería principal es de 24,40 mm (1 pulg).

### 4.8.3. Cálculo del diámetro interior de la tubería de servicio

- **Determinación de las pérdidas por tubería:** El diámetro interior de la tubería de servicio se calcula de la misma manera que el diámetro de la tubería principal y secundaria, con la ecuación 23.

$$L_{Total} = 1,6 * L_L$$

$$L_L = 10 \text{ m}$$

$$L_{Total} = 1,6 * 10$$

$$L_{Total} = 16 \text{ m} \quad \text{Valor empírico}$$

Aplicando la ecuación 24 se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * \tilde{V}^{1,85} \frac{L_L}{\Delta p * P1}}$$

$$\tilde{V} = \left(\frac{0,047}{4}\right) \frac{m^3}{s} = 0,011 \frac{m^3}{s}$$

$$P = 8 \text{ bar} = 8 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0,02 \text{ bar} = 0,02 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,011^{1,85} \frac{16}{(0,02 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,02073 \text{ m}$$

$d = 20,73 \text{ mm}$  Este es un diámetro aproximado.

- **Cálculo del diámetro interior del anillo real:** Ahora en la siguiente Tabla 31, se tiene las pérdidas por accesorios con diámetro de tubería de 20,73 mm.

Tabla 31

*Longitudes equivalentes de los accesorios (tubería de servicio)*

Ítem	Cantidad	Accesorio	Longitud equivalente (m)
1	04	Válvula esférica	0,15
2	08	Codos 90° de r= 2d	0,15
3	04	Pieza en T	1
4	04	Reductor de 2d a d	0,3

Fuente: Elaboración propia.

Según la ecuación 22 se tiene:

$$L_{equiv} = n * j$$

$$\sum_{i=1}^n L_{equiv} = (4 * 0,15 + 8 * 0,15 + 4 * 1 + 4 * 0,3 = 7 \text{ m})$$

Reemplazando e la ecuación 21:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equiv}$$

$$L_{Total} = 10 + 7$$

$$L_{Total} = 17 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 24 se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1,6 * 10^3 * 0,011^{1.85} \frac{17}{(0,02 * 10^5) * (8 * 10^5)}}$$

$$d = 0,01905 \text{ m}$$

$$d = 19,05 \text{ mm} = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

El diámetro a utilizarse en la tubería principal es de 19,05 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).

En cuanto al criterio de velocidad se refiere, utilizando la ecuación 18 se tiene los siguientes resultados.

$$V = \frac{354 * Q}{P * D^2}$$

- Canalización principal:

Donde:

$$Q = 0,047 \frac{m^3}{s} = 169,2 \frac{m^3}{H}$$

P= 8 bar

D= 31,81 mm

$$V = \frac{354 * 169,2}{8 * (31,81)^2} = 7,39 \frac{m}{s} \leq 8 \frac{m}{s} \text{ (Cumple)}$$

- Canalización secundaria:

Donde:

$$Q = 0,023 \frac{m^3}{s} = 82,2 \frac{m^3}{H}$$

P= 8 bar

D= 24,40 mm

$$V = \frac{354 * 82,8}{8 * (24,40)^2} = 6,21 \frac{m}{s} \leq 8 \frac{m}{s} \text{ (Cumple)}$$

- Canalización de servicio:

Donde:

$$Q = 0,011 \frac{m^3}{s} = 39,6 \frac{m^3}{H}$$

P= 8 bar

D= 19,05 mm

$$V = \frac{354 * 39,6}{8 * (19,05)^2} = 4,82 \frac{m}{s} \leq 15 \frac{m}{s} \text{ (Cumple)}$$

#### 4.9. Selección del material del tubo

Entre los diversos materiales que hay en el mercado, se hizo comparaciones en base a varios parámetros que se tomó en cuenta para la elección de la tubería que se empleará en el sistema de aire comprimido. Las comparaciones de los diversos materiales de los tubos se realizaron en la Tabla 17 y 18.

En base al estudio realizado se optaron por tres tipos de materiales, ver la siguiente tabla 32.

Tabla 32

*Posibles materiales seleccionados*

	Acero negro	Acero galvanizado	Acero inoxidable
Corrosión	Corrosivo	Resistente a la corrosión	Resistente a la corrosión
Durabilidad	Poca durabilidad	Durabilidad por mucho tiempo	Durabilidad por mucho tiempo
Trabajo de mantenimiento	Mantenimiento alto	Mantenimiento bajo	Mantenimiento bajo
Disponibilidad de accesorios	Muy bueno	Muy bueno	Bajo
Instalación	Fácil	Fácil	Difícil
Costo	Bajo	Medio	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

También para la selección del material de la tubería se consideró entre otros parámetros como la resistencia al flujo y la disponibilidad de accesorios debido a que todos los esfuerzos por encontrar un material que oponga la menor resistencia posible llegarían a ser inútiles en el caso que sea difícil la obtención o ser muy costosos.

Se consideró también la estanqueidad y facilidad de montaje teniendo presente que en la formación académica que ofrece la facultad, se cuenta con conocimientos de mecanizado, al roscado adecuado de la tubería.

Por lo que se concluyó en elegir bajo los estándares de la NTP 111.010: 2003 la utilización de tubería de acero galvanizado, fabricado bajo la norma ASTM A53 y galvanizada bajo la norma de ASTM A123 con cédula 40, ver Anexo J.

#### **4.10. Suministro eléctrico**

El suministro eléctrico para la compresora es trifásico 380 V, los cables vendrán desde el tablero de distribución que se encuentra en el laboratorio de máquinas y herramientas, hasta el tablero de control de la compresora.

**CAPÍTULO V**

**PLAN DE MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN**

**DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO**

**5.1. Plan de mantenimiento de la red de aire comprimido**

Se debe tener en cuenta que, para realizar un plan de mantenimiento para el sistema de aire comprimido, tiene como objetivo mantener un buen funcionamiento y una larga vida útil de los equipos neumáticos, esta meta se realizó utilizando una guía confiable que determinó la frecuencia de mantenimiento.

**5.1.1. Descripción y situación de la red de aire comprimido**

Con el objetivo de satisfacer la demanda que se requiere en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas, se usó un compresor rotativo tipo tornillo modelo AS 25, con una potencia nominal de 18,5 kW (25 HP) y de tal forma logrando una presión máxima de 11 bar (160 psig) y un caudal de 3,40 m<sup>3</sup>/min (120 cfm) a 8,5 bar (123 psi). También con un tanque vertical modelo T11 de 350 litros.

Dicho sistema tiene el siguiente equipamiento, un secador refrigerativo modelo KRYOSEC TCH 33, un pre filtro (para polvo y partículas) modelo F46KD y un post filtro modelo F46KE (para aceite extrafino), donde la tubería principal es de 31,81 mm (1 1/4 pulg) de diámetro, trazando un anillo abierto en la red viene la tubería secundaria de 24,40 mm (1 pulg), y de ella la tubería de servicio de 19,05 mm (3/4 pulg), que tiene una salida de la tubería secundaria en forma de una garrota.

### **5.1.2. Instalación y ubicación del compresor**

Para reducir la probabilidad de fallas en el compresor y que tenga un buen desempeño, se pondrán en práctica las siguientes sugerencias.

- **Ubicación de la toma de aire:** La toma de aire de los compresores debe ser de aire fresco y sin contaminantes, el cual en la mayoría de casos en instalaciones pequeñas están ubicadas en el mismo cuarto de máquinas aspirando el aire caliente que se encuentra junto al compresor por lo que no sería favorable para el sistema, y de la misma forma si estuviera situada en el sótano o en el techo, ya que la temperatura sería mayor o igual que la del compresor.

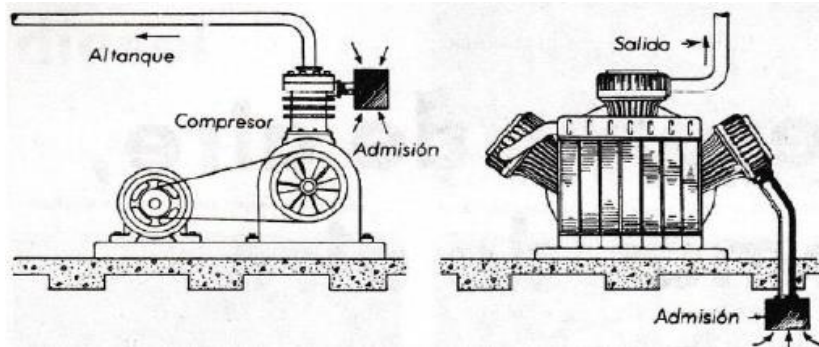


Figura 41. Admisión de aire en el cuarto de máquinas y sótano

Fuente: Toasa, 2014.



Figura 42. Toma de aire exterior

Fuente: Toasa, 2014.

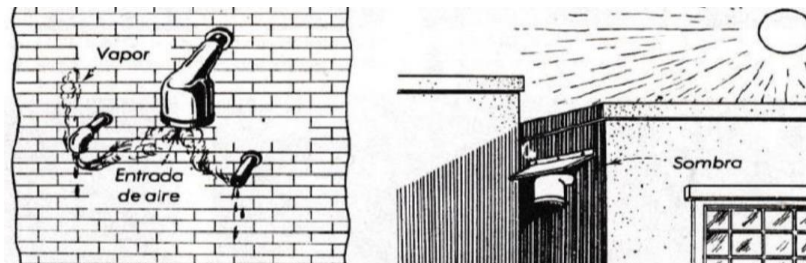


Figura 43. Ubicación para toma de aire exterior.

Fuente: Toasa, 2014.

➤ **Ubicación de nuestro compresor y su toma de aire:** La ubicación del compresor se hará por afueras del Laboratorio de Máquinas y Herramientas, obteniendo así suficiente sombra durante las mañanas para evitar que se consuma aire caliente y ventilación por las tardes producto de los vientos que se dan a esas horas.



Figura 44. Ubicación del área del compresor

Fuente: Elaboración propia.

En este lugar se proyecta la instalación del compresor. El cual tendrá que estar en un ambiente cerrado (enrejado), con techo para evitar que no se exponga a la luz solar y de la lluvia.

### **5.1.3. Gestión de mantenimiento de la red de aire comprimido**

Se debe tener en cuenta que el concepto de mantenimiento no quiere decir que se tenga que reparar un equipo con fallas tan rápido como sea posible si no de mantener el equipo en condiciones óptimas para su funcionamiento, para lo cual, se debe de integrar una política y metas relacionadas con el mantenimiento.

#### **5.1.3.1 Política de mantenimiento al sistema de aire comprimido**

Tener prioridad en el buen desempeño de los equipos e instalaciones de aire comprimido para el laboratorio de máquinas y herramientas, y de tal forma mejorar en que haya un máximo rendimiento con un consumo mínimo.

#### **5.1.3.2 Metas del mantenimiento del sistema de aire comprimido**

Tiene como finalidad suministrar aire comprimido a la red durante el periodo en horas de clase sin provocar pausas repentinas del funcionamiento.

### **5.1.3.3. Responsable del mantenimiento de la red**

Asumir la responsabilidad del mantenimiento es una tarea y un deber de todos los docentes y alumnos beneficiados por el sistema de aire comprimido.

- En primera instancia sería la dirección de mecánica, ya que se encargaría de establecer procedimientos para la evaluación del plan de mantenimiento.
- Los segundos encargados serían los docentes de mecánica, ya que su deber será colaborar con el cumplimiento de las actividades del mantenimiento.
- Los estudiantes serían los últimos encargados del mantenimiento, pero a su vez serían los primeros en reportar cualquier tipo de anomalía, y tendrán que apoyar con buenas prácticas de uso y con las actividades de mantenimiento.

### **5.1.4. Documentos para la gestión de mantenimiento**

Con el propósito de llevar un orden se hará un registro de las actividades realizadas en el sistema de aire comprimido, el cual se necesita una codificación para cada equipo neumático, ver Tabla 33.

Tabla 33

*Código de los equipos que conforman la red*

<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Código</b>
<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED PRIMARIA</b>		
1	Compresor	AC1-01-com
2	Pre filtro de tratamiento	AC1-02-pre
3	Secador refrigerativo	AC1-03-sec
4	Acumulador	AC1-04-acu
5	Posfiltro	AC1-05-pos
6	Válvula de cierre y válvula antirretorno	AC1-06-val
7	Tubería de acero galvanizado de 1 1/4 pulg	AC1-07-tub
8	Codo 90° de r =2 d	AC1-08-cod
9	Pieza en T	AC1-09-pie
<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED SECUNDARIA</b>		
10	Tubería de acero galvanizado de 1 pulg	AC1-10-tub
11	Pieza en T	AC1-11-pie
12	Codo 90° de r =2d	AC1-12-cod
13	Bekomat	AC1-13-bek
14	Unión de tubería y reductores	AC1-14-uni
<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED DE SERVICIO</b>		
15	Tubería de acero galvanizado de 3/4 in	AC1-15-tub
16	Pieza en T	AC1-16-pie
17	Codo 90° de r =2 d	AC1-17-cod
18	Purgador automático	AC1-18-pur
19	Válvula tipo globo	AC1-19-val
20	FRL (filtro, regulador y lubricador)	AC1-20-frl
21	FR (filtro y regulador)	AC1-21-fr
22	Carrete de manguera	AC1-22-car

Fuente: Elaboración propia.

- **Registro de los equipos:** Este procedimiento es importante con la finalidad de conocer las características técnicas de cada uno de los equipos que se utilice.
- **Historial del equipo:** Se tendrá que manejar uno por cada equipo que se encuentre en la red, con el objetivo de que este tipo de documentación esté siempre disponible para el personal que esté encargado del mantenimiento.
- **Solicitud de trabajo de mantenimiento:** Esta documentación tiene la finalidad de delegar a personas competentes las actividades, de tal forma se evitará el desorden en la atención completa de mantenimiento de la red.
- **Plan de mantenimiento:** Se sabe que la gestión de mantenimiento no es otra cosa que un número de medidas propuestas para el buen funcionamiento de la red de aire comprimido, todas estas medidas no estarían completos sin un plan de mantenimiento preventivo, este plan tiene como particularidad que las tareas estén divididas de acuerdo al periodo de su realización. Se debe tener en cuenta que los periodos de realización de tareas serán propuestos en base a catálogos y recomendaciones de los proveedores cuando se adquiera los equipos y elementos que conforman la red.
- **Análisis de trabajo seguro (ATS):** Viene a ser una herramienta muy importante que se debe elaborar en el momento que se realizará el trabajo de mantenimiento,

el cual sirve para identificar los riesgos y peligros que hay en el lugar de trabajo, detallando todos los pasos que se ejecutarán desde el inicio al final, ya que por lo cual se deberá tomar medidas de control para cada paso que realizará, así mismo se calificará si el trabajador cuenta con el EPP. Todas estas medidas tendrán que ser supervisadas y aprobadas por el docente encargado del laboratorio de máquinas y herramientas. En el caso de los estudiantes, se tendrá que llenar el mismo formato para cada tarea que se realice en el laboratorio, el cual se deberá llenar el ATS para salvaguardar la integridad de los estudiantes y de tal forma que se forme un hábito de seguridad en ellos. En el Anexo N se aprecia el formato de ATS.

## **5.2. Localización de fugas y control**

Primero se localiza las fugas para luego eliminarlas. Uno de los métodos más conocidos consiste en aplicar lejía jabonosa en los posibles lugares de fuga, y si se observa que se forman burbujas es porque hay una fuga de aire en el lugar. A continuación, se muestran los lugares más comunes de las fugas, ver la Figura 45.

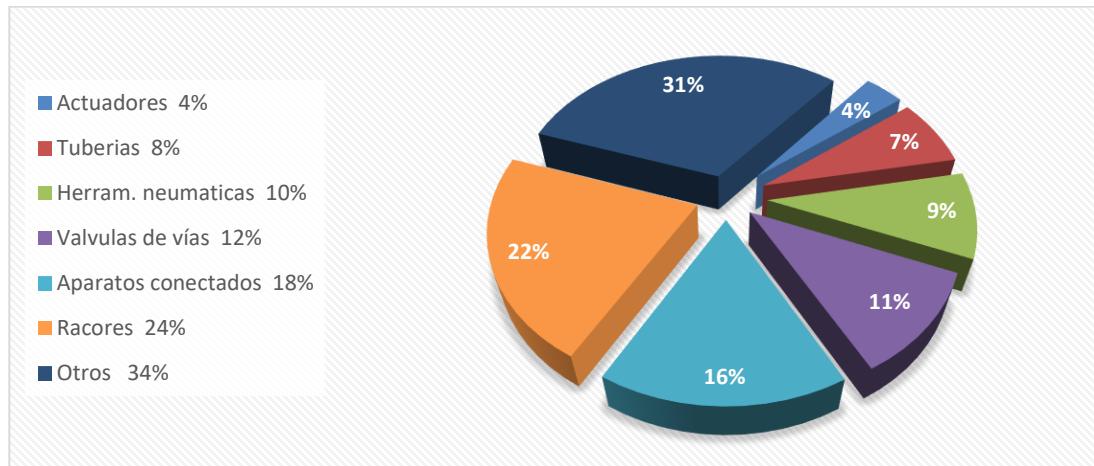


Figura 45. Distribución de las fugas en la red de aire comprimido

Fuente: Elaboración propia.

- **Localización mediante ultrasonido:** Al existir una fuga, el aire se escapa a gran velocidad produciendo un sonido inaudible para el ser humano, por lo que si hay una forma de detectar estos sonidos, el cual es mediante sensores que hace transformar su frecuencia para que el ser humano la perciba utilizando auriculares haciendo uso del sentido de orientación del hombre, y también es posible digitalizar las señales. Con este método se puede localizar fácilmente cualquier fuga en el sistema de aire comprimido.

### **5.3. Recomendaciones de operación**

#### **5.3.1. Pasos para la utilización del aire comprimido**

La persona que realizará un trabajo haciendo el uso del sistema de aire comprimido, deberá llenar en primera instancia el ATS, dando el visto bueno y aprobación del docente encargado con una firma, para luego así la persona pueda entrar con el equipo de protección personal necesario al laboratorio de máquinas y herramientas. Al finalizar la actividad con el sistema de aire comprimido, se deberá cerrar el ATS, con las firmas respectivas de los participantes y el docente encargado, Ver anexo N.

#### **5.3.2. Protocolos de seguridad para el uso del aire comprimido**

Para el correcto funcionamiento de la red de aire comprimido, además del manual de instrucciones que se adquirirá en la compra del equipo, se dará a conocer algunos puntos del protocolo de seguridad, ya que el riesgo de que ocurra un accidente está siempre ahí y con el simple hecho de que se sepa cómo actuar durante y después es vital para evitar accidentes. A continuación, se mencionan dichos consejos.

- **No subestimes los riesgos del aire comprimido:** No usar el aire comprimido en objetos que no estén diseñados para ello y tampoco exceder la presión nominal.
- **Dedícale tiempo al manual:** Sabiendo que no es muy difícil encender un compresor, se debe estar siempre con el manual de la máquina.
- **Desconecta el sistema para su mantenimiento:** La persona capacitada encargada del mantenimiento debe cortar la energía eléctrica que alimenta al compresor y también debe estar bloqueada (eléctrica y neumáticamente) para que así pueda realizar su labor de forma segura.
- **Uso del equipo de protección personal (EPP):** Se deberá usar el equipo de protección personal de acuerdo al trabajo que se realice para evitar accidentes durante el trabajo.

#### **5.4. Guía para el ahorro de energía en la red**

- **Medidas de ahorro de energía:** Uno de los problemas primordiales es preservar el funcionamiento óptimo de los equipos, debido a que un mal mantenimiento puede originar fugas, y por tal motivo, significarán a corto y largo plazo una pérdida muy significativa, ver Tabla 34.

Tabla 34

*Medidas para el ahorro de la energía*

<b>Puntos de aplicación</b>	<b>Justificativo</b>	<b>Actividades a realizar</b>
<b>Calidad de aire comprimido</b>	A más calidad de aire mayor será el costo para producirlo.	-Se debe considerar cuidadosamente las necesidades del proceso para determinar los equipos adecuados para la correcta preparación del aire.
<b>Cantidad de aire</b>	Sobredimensionamiento de compresores es ineficiente consumiendo más energía por unidad de volumen de aire producido debido a que trabaja de forma parcial.	-Se debe realizar una valoración exacta del consumo que se tendrá incluso en horas pico e incluyendo ampliaciones futuras sin excederse de los valores obtenidos, se recomienda también no dar uso inapropiado del aire de la red.
<b>Nivel de presión requerido</b>	A mayor presión el sistema será más costoso, afectaciones a las unidades consumidoras, a menor presión el funcionamiento será menos eficiente.	-Realizar una valoración exacta de la presión que se necesita en cada proceso evitando distintas regulaciones para cada unidad consumidora.
<b>Fugas</b>	Produce caídas de presión trayendo consigo trabajos ineficientes de los equipos, aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión.	-Cuidar que el porcentaje de fugas no exceda el 10 % de la capacidad del compresor, registrar el periodo de carga y no carga, si el periodo aumenta quiere decir que los niveles de fugas han aumentado.
<b>Control en compresores</b>	Lograr que la oferta de aire sea lo más cercana a la demanda de nuestro sistema.	-Se obtiene un ahorro de energía gracias a que el medio de control mantiene en forma precisa un promedio de presión más bajo sin ir por debajo del mínimo requerido.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.1. Sugerencias para ahorrar y controlar

Casi muchas de las redes neumáticas tienen pérdidas de energía producto de las fugas, el cual se debe localizar y cerrarlas para que la pérdida de presión en la red sea lo más baja posible. En la Tabla 35 se dará algunas pérdidas de presión producidas en el trayecto del aire comprimido.

Tabla 35  
*Pérdidas de presión en equipos*

<b>Equipos</b>	<b>Pérdida de presión</b>
Tubería principal	0,015 bar
Tubería de distribución	0,065 bar
Derivaciones	0,02 bar
Secador	0,18 bar
Filtro	0,20 bar
Unidad de mantenimiento y tubo flexible	0,62 bar
Pérdida de presión total	1 bar

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de aire comprimido debería revisarse con regularidad con el objetivo de detectarse fallas, roturas, elementos de sujeción sueltos, corrosión y fugas. Por lo cual, es primordial hacer los siguientes controles, ver Tabla 36.

Tabla 36

*Medidas de control en la red de tubería*

<b>Periodo</b>	<b>Medidas de control</b>
<b>Diariamente:</b>	Controlar los niveles de aceite del lubricador y drenar el condensado acumulado en los depósitos de los filtros o en todo caso utilizar un separador automático.
<b>Semanalmente:</b>	Controlar el pandeo de las tuberías y de tal manera verificar si están porosos con virutas de metal y también verificar el funcionamiento de las unidades de mantenimiento y válvulas reguladoras (cerrarlas y ajustarlas a una presión de 6.3 bar).
<b>Mensualmente:</b>	Controlar los daños en los tubos, las válvulas de flotador de las unidades de purga automática de condensado, ajustar las conexiones sueltas que pueda haber en la red, limpiar los cartuchos de los filtros y verificar si los taladros de escape están obturados.
<b>Trimestralmente:</b>	Controlar las fugas posibles en la red como en las uniones de tuberías, racores y también limpiar válvulas, los cartuchos filtrantes o cambiarlas.
<b>Semestralmente:</b>	Controlar los indicios de desgaste y posibles fugas de aire en algunos equipos y sustituir los silenciadores sucios.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI

### ESTUDIO ECONÓMICO

#### 6.1. Costos

##### 6.1.1. Costos directos

- Los costos directos son los que se relacionan directamente con el proyecto, se clasifican en: costos de accesorios, costos de materiales y equipos.

Tabla 37

*Costos de accesorios*

<b>ACCESORIOS QUE CONFORMAN LA RED</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio U. (Soles)</b>	<b>Total (Soles)</b>
1	Reductores (bushing)	Unidad	6	3,00	18,00
2	Perno de expansión	Unidad	5	5,00	25,00
3	Neplos de 1 1/4 - 3/4 pulg	Unidad	2	1,50	3,00
4	Teflón industrial PTFE	Unidad	8	12,00	96,00
5	Sellador industrial	Unidad	2	27,00	54,00
6	Clavo calaminero	Unidad	50	0,12	6,00
7	Malla metálica	3x1 m c/u	5	30,00	150,00
8	Madera	3 m c/u	5	30,00	150,00
9	Calamina	Unidad	3	14,00	42,00
10	Sujetadores	Unidad	48	1,00	48,00
11	Unión de tuberías	Unidad	1	2,00	2,00
<b>Total, partidas suma alcanzada</b>					<b>S/ 624,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

*Costos de materiales y equipos*

<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED PRIMARIA</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Parcial (Soles)</b>
1	Compresor	Unidad	1	30 000,00	30 000,00
2	Prefiltros de tratamiento	Unidad	1	1 200,00	1 200,00
3	Secador refrigerativo	Unidad	1	5 000,00	5 000,00
4	Posfiltro	Unidad	1	1 200,00	1 200,00
5	Acumulador con válvula	Unidad	1	4 000,00	4 000,00
6	Válvula antirretorno	Unidad	1	50,00	50,00
7	Tubo acero galvanizado 1 1/4 pulg	6 metros c/u	1	20,00	20,00
8	Codo 90° de r =2d	Unidad	2	7,00	14,00
9	Pieza en T	Unidad	1	5,00	5,00
<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED SECUNDARIA</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total (Soles)</b>
10	Tubo acero galvanizado de 1 pulg	6 metros c/u	4	18,00	72,00
11	Pieza en T	Unidad	4	4,00	16,00
12	Codo 90° de r =2d	Unidad	3	5,00	15,00
13	Bekomat	Pza.	2	400,00	800,00
<b>ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED DE SERVICIO</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total (Soles)</b>
14	Tubo acero galvanizado de 3/4 pulg	6 metros c/u	2	16,00	32,00
15	Pieza en T	Unidad	4	4,00	16,00
16	Codo 90° de r =2d	Unidad	8	5,00	40,00
17	Purgador automático	Pza.	4	125,00	500,00
18	Válvula tipo globo	Unidad	4	90,00	360,00
19	FRL (filtro, regulador y lubricador)	Unidad	3	250,00	750,00
20	FR (filtro y regulador)	Unidad	1	300,00	300,00
21	Carrete de manguera	Juego	4	70,00	280,00
<b>Total, partidas suma alcanzada</b>					<b>S/. 40 670,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.1.1. Costos de mano de obra directa

El costo de instalación del sistema de aire comprimido se propone realizarlo por medio de una empresa servidora, el cual se estima un costo de 15 mil soles:

Tabla 39

*Costo de mano obra*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
1	Instalación eléctrica	m <sup>3</sup>	45	66,66	3 000,00
2	Instalación mecánica	m <sup>3</sup>	200	50,00	10 000,00
3	Instalación civil	m <sup>3</sup>	36	55,55	2 000,00
<b>Total, partidas suma alcanzada</b>					<b>S/. 15 000,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2. Costos indirectos

Tabla 40

*Costos de materiales indirectos*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (soles)	Precio total
1	Tarrajá	Juego	1	150,00	150,00
2	Broca 5/16	Unidad	2	22,00	44,00
3	Broca 1/4	Unidad	2	8,00	16,00
4	Broca 3/16	Unidad	2	14,00	28,00
<b>Costos de materiales indirectos (Soles)</b>					<b>S/. 238,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3. Costo total del proyecto

Tabla 41

*Costo total del proyecto*

	Descripción del costo	Precio
	Costos de accesorios	624,00
Costo directo	Costo de materiales y equipos	40 670,00
	Mano de obra directa	15 000,00
Costos indirectos	Costo de materiales indirectos	238,00
	<b>Costo total del proyecto (Soles)</b>	<b>S/. 56 532,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Observaciones:**

El costo total calculado es solo referencial, ya que se podrá modificar con el tiempo para la mejora del proyecto, ya que solo es una propuesta para el mejoramiento del Laboratorio de Máquina y Herramientas de la Escuela de Mecánica, y también el costo de mantenibilidad se hará cuando se adquiera los equipos y elementos que conforman el sistema de aire comprimido, por lo que en este proyecto no se realizará ese cálculo.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramienta de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UNJBG, para satisfacer las diferentes demandas en calidad de servicio, con una presión óptima de 8 bar (117 psi) para la utilización de los equipos que conforman este laboratorio, y de tal forma otorgar a las unidades consumidoras una calidad de aire eficiente y caudal de aire necesario para su correcto funcionamiento y para posibles ampliaciones.
- Según el estudio realizado y en base al uso de los equipos en el laboratorio se seleccionó la calidad de aire ISO 8573-1 de clase 3.4.3, también se calculó el punto de rocío que es de 290 K (17 °C), por lo que se eligió un sistema de preparación de aire, el cual involucra un pre filtro de aire modelo F46KD, un secador refrigerativo con un sistema de filtración integrado modelo KRYOSEC TCH 33, un post filtro modelo F46KE y un tanque reservorio vertical modelo T11-350 entre otros equipos. También se seleccionó, un compresor tipo tornillo lubricado con una potencia nominal de 18,5 kW (25 HP) con una presión de trabajo de 5,5 a 11 bar y con un caudal de 3,40 m<sup>3</sup>/min (120 cfm), que abastecerá

el consumo de aire requerido en el laboratorio de 2,8 m<sup>3</sup>/min (101,45 cfm). Por lo que dicho aire comprimido deberá circular por los conductos de tuberías, el material seleccionado es de acero galvanizado fabricado bajo la norma ASTM A53 y ASTM A123 de SCH 40, en base al cálculo del diámetro interno que se hizo para la red primaria de 31,81 mm (1 1/4 pulg), distribución de 24,40 mm (1 pulg) y para la tubería de servicio de 19,05 mm (3/4 pulg) y de igual forma los accesorios de conexión de la red. Todos estos equipos serán de un material apto que puedan resistir las condiciones de funcionamiento con el propósito de evitar anomalías y las pérdidas innecesarias de presión.

- El suministro eléctrico para la compresora es trifásico 380 V, los cables vendrán desde el tablero de distribución que se encuentra en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas, hasta el tablero de control de la compresora.
- En el anexo O se muestra el cronograma de estudio del proyecto y también se pone como propuesta el cronograma de instalación del proyecto, el cual tendría un costo promedio total en compra de equipo y ejecución en la suma de S/. 56 532,00 (nuevos soles), ver el anexo Ñ.

## RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que mientras más corta sea la tubería y su diámetro más pequeño, la red será más óptima, no obstante, si el diámetro de los tubos que llevan hacia la válvula de vías es más grande se pierde menos presión.
- Realizar anualmente pruebas de hermeticidad a las tuberías del sistema de aire comprimido con una presión superior a la del trabajo para evitar fugas y reemplazar lo defectuoso, y de esta forma no tener consumo de energía elevado.
- Aplicar los pasos para el trabajo de mantenimiento del sistema de aire comprimido, ya que de tal forma se podrá actualizar y llevar un orden en la documentación de las fichas técnicas en los trabajos, siguiendo los protocolos de seguridad para la correcta utilización de los distintos equipos del sistema.
- Este diseño planteado de un sistema de aire comprimido es una propuesta para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, el cual puede ser la base para implementar o mejorar un proyecto en dicha escuela y que sea financiado por la misma universidad o escuela de mecánica, y que sirva para futuras investigaciones de los estudiantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barria, E. (2005). *El aire comprimido y su utilización a bordo* . Chile: Universidad Austral de Chile.
- Carnicer, E. (1977). *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Carnicer, E. (1994). *Aire comprimido*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Carnicer, E. (1996). *Sistemas industriales accionados por aire comprimido*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Chérrez, M. (2010). *Rediseño del sistema de aire comprimido de la estación de bombeo-faisanes del poliducto esmeraldas-quito-macul*. Rio Bamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Díaz, R. (1987). *Apuntes de máquinas y sistema térmicos*. Riobamba: Escuela de Ingeniería.
- Fordel, P. (2011). *Atlas Copco Manual de aire comprimido 2011*. Belgica : Atlas Copco Airpower NV.
- Hesse, S. (2002). *Aire comprimido , Fuente de energía*. Esslingen: Festo.

- Iglesias, A. (02 de 03 de 2013). *Diseño de redes de distribución*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/aicvigo1973/tema-4-neumatica-red-de-distribucion>
- Kaeser, T. (2010). *Fundamentos Tips y sugerencias en la tecnología del aire comprimido*. KAESER COMPRESORES, 7-8,40-44.
- López, J. (2013). *Mejoramiento del sistema de aire comprimido para optimizar perforación en operaciones mineras subterráneas en u.e.a. Orcopampa mina chipmo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro Del Peru.
- Martínez, E. (2018). *Análisis de eficiencia energética de un sistema de aire comprimido en una pequeña Empresa Metal Mecánica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mejía, D. (2012). *Evaluación del sistema de aire comprimido de un centro minero ubicado a 3500 msnm*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Palma, J. (2018). *Rediseño del sistema de aire comprimido para evitar residuos de aceite en la Empresa Camposol S.A*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Paredes, J. (2016). *Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

- Ramirez, D. (2018). *Rediseño de red de distribución de aire comprimido en Planta Geotérmica Pailas I*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ramírez, D. (2018). *Rediseño de red de distribución de aire comprimido en Planta Geotérmica Pailas I*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rivera, J., & Valdez, C. (2012). *Reconstrucción de los sistemas de aire comprimido y red eléctrica del taller de mecánica automotriz de la carrera de ingeniería en mantenimiento automotriz, ubicado en el colegio universitario del barrio azaya, en el sector del camal de la ciudad de Ibarra*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Romero, J. (2016). *Monitoreo del espectro sonoro de un sistema de aire comprimido para el cálculo del nivel real de atenuación de ruido de los protectores auditivos utilizados para técnicos mecánicos en Grupo Pana S.A., Lima, 2016*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Sáenz, C. (2014). *Estudio técnico para mejorar la eficiencia de la línea de aire comprimido utilizando el método de ultrasonido acústico aplicado en una planta papelera*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- SMC Didáctica. (2016). *Guía completa de neumática básica*. México: SMC Corporación S.A.

- Toasa, E. (2014). *Diseño e implementación de la red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la escuela de ingeniería de la Facultad de Mecánica - epoch*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Toasa, E. (2014). *Diseño e implementación de la red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica - Epoch*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Torres, L. (2006). *Propuesta de una red de aire comprimido para los laboratorios de la escuela de Ingeniería Mecánica, en el Edificio T-7*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Vivanco, V. (2018). *Mejora de la productividad en los hornos secadores mediante el cumplimiento de un plan de mantenimiento preventivo en el sistema de aire comprimido del área de secado de la Compañía Minera Miski Mayo*. Piura: Universidad Cesar Vallejo.

## **ANEXOS**

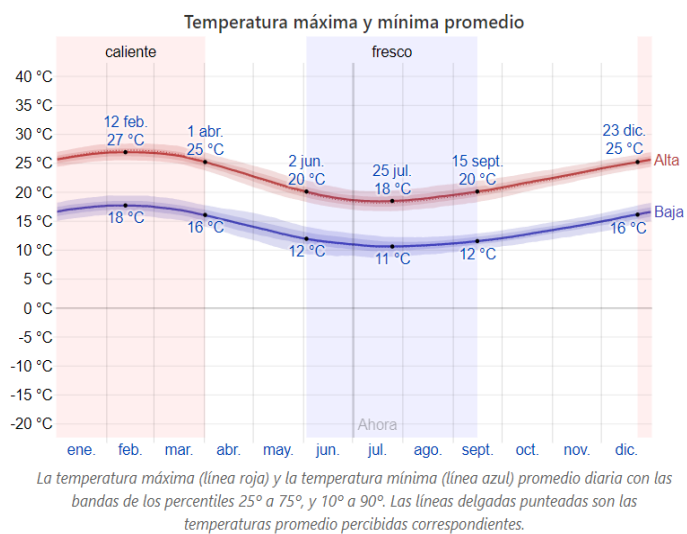
### Anexo 1. Matiz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLE E INDICADORES
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Es posible proponer el diseño de un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a. ¿Cuál será la propuesta de la composición del sistema de suministro para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?</p> <p>b. ¿Cuál será la composición propuesta del sistema de distribución para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Proponer el diseño de un sistema de aire comprimido para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a. Determinar la composición del sistema de suministro para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.</p> <p>b. Determinar la composición del sistema de distribución para el sistema de aire comprimido del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en el año 2019.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Sistema de aire comprimido.</p> <p><b>Indicadores</b></p> <p>Sistema de Suministro. Sistema de Distribución.</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Procesos derivados del uso del sistema de aire comprimido.</p> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas y medición de compresión.</li> <li>- Trabajo de montaje en una instalación de un equipo.</li> <li>- Operaciones de limpieza de módulos o área de trabajos.</li> <li>- Simulación de sistema neumático en módulos o banco de pruebas.</li> <li>- prensas, mesas elevadoras y otros equipos neumáticos.</li> </ul>

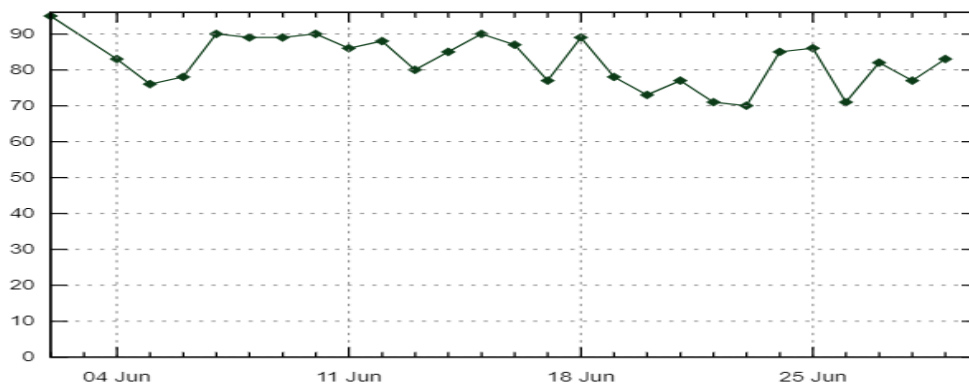
MÉTODO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
<p><b>MÉTODO:</b> Cuantitativo</p> <p><b>DISEÑO:</b> No experimental/transversal.</p> <p><b>NIVEL:</b> Descriptivo</p>	<p><b>POBLACIÓN:</b> Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.</p> <p><b>MUESTRA:</b> Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.</p>	<p><b>TÉCNICAS</b></p> <p>Observación</p> <p><b>TRATAMIENTO</b></p> <p><b>ESTADÍSTICO:</b> SPSS V.15 / Microsoft Excel, Microsoft Project</p>	<p><b>INSTRUMENTO</b></p> <p>Ficha de observación.</p>

## ANEXO A

Hora	Predicción	Temperatura	Humedad relativa
Ahora	☾	13°	90%
02.00 h	☾	13°	90%
03.00 h	☾	13°	90%
04.00 h	☾	13°	91%
05.00 h	☾	13°	90%
06.00 h	☀	13°	89%
07.00 h	☀	13°	88%
08.00 h	☀	14°	80%
09.00 h	☀	16°	72%
10.00 h	☀	17°	64%
11.00 h	☀	18°	63%
12.00 h	☀	19°	61%



Tacna/Ciriani aeropuerto  
 Humedad relativa [%]: 02.06.2020 - 30.06.2020  
 © weatheronline.co.uk



Fuente: <http://tiempoytemperatura.es/peru/tacna.html#por-horas>

## ANEXO B



Bekomat 32

### Filtro y decantador de agua (máx. 16 bar)

En construcción modular compacta. Con posibilidades de conexión para otros aparatos a ambos lados. Evacuación manual de condensado, o con sistema automático de evacuación.

Capacidad de conexión		G ¼	G ⅜	G ½	G ¾
Medidas: Longitud de montaje	Anchura mm	40	48	70	70
	Altura mm	120	158	202	202
Caudal nominal para presión inicial de 6 bares (p <sub>1</sub> ) y caída de presión Δp = 1 bar		<b>m<sup>3</sup>/min</b>			
		1,8	2,0	3,2	3,5

### Regulador de presión con manómetro (máx. 25 bar)

En construcción modular compacta. Con posibilidades de conexión para otros aparatos a ambos lados. Fijación del ajuste presionando el volante grande.

Capacidad de conexión		G ¼	G ⅜	G ½	G ¾
Medidas: Longitud de montaje	Anchura mm	40	48	70	70
	Altura mm	105	98	134	134
Caudal nominal para presión inicial de 10 bares (p <sub>1</sub> ), presión secundaria 6 bares (p <sub>2</sub> ) y caída de presión Δp = 1 bar conforme a DIN ISO 6953		<b>m<sup>3</sup>/min</b>			
		2,0	3,2	7,0	8,0

### Lubricador (máx. 16 bar)

En construcción modular compacta. Compensación de cantidades integrada. Con posibilidades de conexión para otros aparatos a ambos lados.

Capacidad de conexión		G ¼	G ⅜	G ½	G ¾
Medidas: Longitud de montaje	Anchura mm	40	48	70	70
	Altura mm	140	171	224	224
Caudal nominal para presión inicial de 6 bares (p <sub>1</sub> ) y caída de presión Δp = 1 bar		<b>m<sup>3</sup>/min</b>			
		3,4	4,4	4,6	7,5

### Aparato combinado (filtro / regulador de presión) con manómetro (máx. 16 bar)

En construcción modular compacta. Evacuación manual de condensado, o con sistema automático de evacuación.

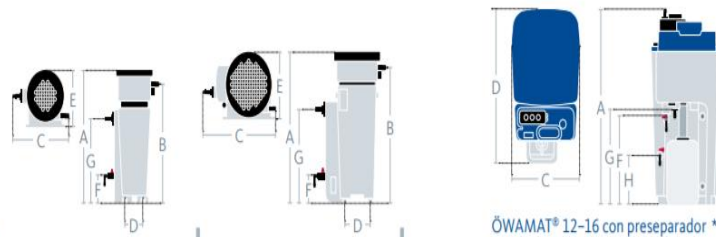
Válvula reguladora de presión con purga de aire secundaria. Fijación del ajuste presionando el volante grande.

Capacidad de conexión		G ¼	G ⅜	G ½	G ¾
Medidas: Longitud de montaje	Anchura mm	40	48	70	70
	Altura mm	175	203	273	273
Caudal nominal para presión inicial de 10 bares (p <sub>1</sub> ), presión secundaria 6 bares (p <sub>2</sub> ) y caída de presión Δp = 1 bar conforme a DIN ISO 6953		<b>m<sup>3</sup>/min</b>			
		2,0	3,0	5,5	6,5

Fuente: Catálogo de Beko Tecnológica

## ANEXO C

ÖWAMAT®



Modelo	10	11	12	14
<b>Caudal del compresor (m³/min)</b>				
Compresor de tornillo Aceite para turbinas	2,8 2,4 2,1	5,5 4,9 4,2	8,5 7,3 6,2	16,9 14,6 12,5
Compresor de tornillo Aceite VDL	2,8 2,4 2,1	5,5 4,9 4,2	8,5 7,3 6,2	16,9 14,6 12,5
Compresor de tornillo Aceite VCL	2,1 1,9 1,6	4,2 3,8 3,2	6,5 5,6 4,8	13,0 11,3 9,6
Compresor de tornillo Aceite sintético: PAO (posible variación de caudal +/-20%)	2,1 1,9 1,6	4,2 3,8 3,2	6,5 5,6 4,8	13,0 11,3 9,6
Compresor de tornillo Aceite sintético: éster (posible variación de caudal +/-40%)	1,8 1,6 1,4	3,6 3,2 2,8	5,5 4,8 4,0	11,1 9,6 8,2
Compresor de pistón Aceite VDL	1,9 1,7	3,8 3,4	5,9 5,1	11,7 10,1

Fuente: Catálogo de Beko Tecnológica

## ANEXO D



### ITEM 2: SECADOR REFRIGERATIVO

<b>Modelo:</b>	<b>KRYOSEC TCH 33</b>
<b>Tipo:</b>	Refrigerativo con sistema de filtración integrado
<b>Entrega de aire</b>	111 cfm @ 100 psi
<b>Pto de rocío a presión</b>	3°C / Clase 3 según ISO 8573-1
<b>Presión de operación</b>	0,18 – 16 bar
<b>Caída de presión</b>	<=0,18 bar
<b>Conexión de línea</b>	G 1/2"
<b>Peso Operativo</b>	33 Kg
<b>Voltaje de línea</b>	230 Volt / 1 ph / 60Hz

### ITEM 3: PREFILTRO (FILTRO PARA ACEITE COALECENTE EXTRAFINO)

<b>Modelo:</b>	<b>F46KE</b>
<b>Capacidad Nominal</b>	4,6 m3/min (162 CFM) @ 7 barg (100 psig)
<b>Presión máxima:</b>	16 bar (232 psig)
<b>Conexión:</b>	G 2"
<b>Retención:</b>	Aerosol residual a la salida < 0.01 mg/m3 según ISO 12500-1. Caída de presión nuevo (en saturación) < 0.20 mbar (2.9 psi).
<b>Accesorios:</b>	✓ Indicador de presión diferencial de saturación de elemento.

### ITEM 4: POSTFILTRO (FILTRO DE POLVO/PARTICULAS)

<b>Modelo:</b>	<b>F46KD</b>
<b>Capacidad Nominal</b>	4,6 m3/min (162 CFM) @ 7 barg (100 psig)
<b>Presión máxima:</b>	16 bar (232 psig)
<b>Conexión:</b>	G 2"
<b>Retención:</b>	Caída de presión nuevo (en saturación) < 0.03 mbar.
<b>Accesorios:</b>	✓ Indicador de presión diferencial de saturación de elemento.

Fuente: Catálogo KAESER Compresores



#### ITEM 5: TANQUE RESERVORIO: VERTICAL

<b>Modelo:</b>	<b>T11-350</b>
<b>Presión trabajo máx:</b>	160 psig (11 barg)
<b>Prueba hidrostática a:</b>	232 psig (16 barg)
<b>Capacidad:</b>	350 litros (90 galones)
<b>Norma de Fabricación:</b>	AD 2000
<b>Dimensiones:</b>	Altura 1810 mm Diámetro 550 mm
<b>Conexiones:</b>	2 x G 1"
<b>Peso:</b>	80 Kg.
<b>Tapa de registro:</b>	1 x Hand-hole para mantenimiento
<b>Acabado:</b>	Galvanizado por dentro y por fuera por inmersión en caliente según DIN EN ISO 1461.
<b>Certificaciones:</b>	Certificados según: 97/23/EC Pressure Equipment Directive
<b>Accesorios:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Manómetro de presión</li><li>• Válvula de alivio</li><li>• Válvula de bola de purga manual</li></ul>

















Fuente: Catálogo KAESER Compresores

## Datos técnicos




Modelo*	Flujo volumétrico	Pérdida pres. secador refrigerativo	Pot. eléct. consumida al 100 % del flujo	Presión de trabajo	Peso	Dimensiones L x A x A	Conexión de aire comprimido	Conexión drenaje de condensado	Configuración eléctrica	Masa de agente refrig. R134a	Masa de agente refrig. equivalente en CO <sub>2</sub>	Circuito hermético refrigerante
	cfm	psi	kW	psi	lbs	pulg				kg	t	
TAH 5	12	0.70	0.12	De 45 a 232	53	15 x 18 1/2 x 17 1/2	1/2	1/4	115 V/ 60 Hz/1 Pz	0.14	0.2	°
TAH 7	20	1.90	0.16		53					0.16	0.2	°
TAH 10	28	2.20	0.19		57					0.2	0.3	°
TBH 14	42	2.6	0.28	De 45 a 232	73	18 x 20 1/2 x 21 1/2	1/2	1/4	115 V/ 60 Hz/1 Pz	0.29	0.4	°
TBH 16	57	2.7	0.33		84					0.43	0.6	°
TBH 23	78	3.3	0.41		101		1			0.52	0.7	°
TCH 27	90	3	0.47	De 45 a 232	123	25 x 26 x 24	1	1/4	115 V/ 60 Hz/1 Pz	0.6	0.8	-
TCH 33	110	3.3	0.65		146		0.86			1.2	-	
TCH 36	124	3.6	0.73		152		1 1/4			0.9	1.2	-
TCH 45	159	3.3	0.89		165		1			1.6	-	

Fuente: Catálogo KAESER compresores







## ANEXO E

UNIDADES F.R.L.			
	<b>AC</b> Unidad Modular F.R.L.		<b>AF-A</b> Filtro
	<b>AWG-K</b> Filtro regulador con sistema antiretorno y manómetro integrado		<b>E210/310/410</b> Adaptador modular
	<b>AFM-A</b> Filtro separador		<b>AV</b> Válvula de arranque progresivo
	<b>AFD-A</b> Filtro separador de neblina		<b>AF8/9</b> Filtro de gran flujo
	<b>AR-A/AR-B</b> Regulador		<b>AL-A</b> Lubricador
	<b>AWM-A</b> Filtro separador con regulador		<b>AW-A/AW-B</b> Filtro regulador
	<b>AWD-A</b> Filtro micro-separador con regulador		<b>ARG</b> Regulador con manómetro integrado
	<b>ARG-K</b> Regulador con sistema antiretorno y manómetro integrado		<b>AWG-B</b> Filtro regulador con manómetro integrado



  

PURGA AUTOMÁTICA			
	<b>AD</b> Purga automática con válvula		<b>ADM</b> Purga automática motorizada
	<b>ADH</b> Purga de uso pesado		

EQUIPO DE LUBRICACIÓN			
	<b>AL</b> Lubricador para alto flujo		<b>ALF</b> Lubricador con filtro
	<b>ALD</b> Unidad de lubricación		<b>ALB</b> Unidad de lubricación con amplificador de presión
	<b>LMU</b> Unidad de lubricación		<b>ALIP</b> Lubricador de impulso

COLECTORES DE LÍQUIDOS	
	<b>AEP100</b> Colector de líquidos por presión
	<b>HEP500</b> Colector tipo eyector

Fuente: [http://smc.com.mx/wp-content/uploads/2018/01/ProductoStandar\\_web](http://smc.com.mx/wp-content/uploads/2018/01/ProductoStandar_web)

## ANEXO F

# AD402/600

## Purga automática

Descarga el condensado automáticamente y de forma segura, sin necesidad de operación manual.

Altamente resistente al polvo y la corrosión, funcionamiento fiable y protección del vaso como equipo estándar.



AD402

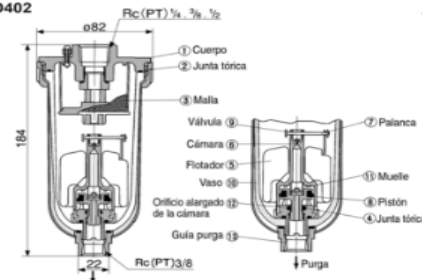
AD600

Símbolo



### Construcción/Dimensiones

#### AD402



#### •Principio de funcionamiento (AD402)

Cuando no se aplica presión al vaso internamente (8), el flotador (5) desciende debido a su propio peso y la válvula (3) cierra el orificio de la cámara (6). El émbolo (8) es empujado por el muelle (1), y el condensado pasa a través del orificio alargado de la cámara (2) para introducirse en la carcasa y ser descargado.

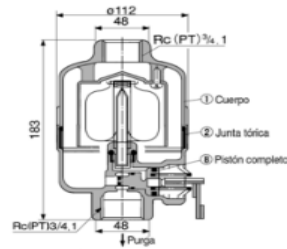
\*Cuando se aplica presión al vaso internamente:

Cuando la presión es mayor de 1Mpa, sobrepasa la fuerza del muelle (1), permitiendo al émbolo (8) ascender, y entra en contacto con la junta tórica (4). De esta manera, el interior del vaso (9) se aísla del exterior.

\*Cuando se acumula el condensado:

El flotador (5) asciende debido a la flotación y abre el orificio de la cámara (6), permitiendo que la presión entre en la cámara (6). El émbolo (8) desciende debido a la fuerza de la presión interna y el muelle (1), y el condensado acumulado se descarga a través de la guía de purga (7).

#### AD600



### Lista de componentes

Ref	Designación	Material
①	Cuerpo	Función de aluminio

### Lista de repuestos

Ref	Designación	Material	Modelo	
			AD402	AD600
②	Junta tórica	NBR	113136	JIS B2401G-100
③	Malla	SUS	20062	-
Nota 1)	Conjunto interno	-	AD34PA	-
⑧	Pistón completo	-	-	20.025A

Nota 1) Conjunto interno: Conjunto para las piezas ④ a ⑩ excepto ⑩

Nota 2) Ref. del conjunto de la protección: AD34

### Modelo/Características técnicas

Modelo	AD402	AD600
Presión de prueba	1.5MPa	1.5MPa
Presión máx. de trabajo	1.0MPa	1.0MPa
Rango de presión de trabajo <sup>(1)</sup>	0.1 a 1.0MPa	0.3 a 1.0MPa
Temperatura ambiente y de fluido	-5 a 60°C (sin congelación)	-5 a 60°C (sin congelación)
Diámetro	Rc(PT)1/4, 3/8, 1/2	Rc(PT)3/4, 1
Conexión purga	3/8	3/4, 1
Peso (g.)	620	2100

Nota 1) Para un compresor de aire con un caudal superior a 400 l/min (ANR).

### Características opcionales

Vaso metálico	AD402	AD600
	-	-

### ⚠ Precauciones

Léase detenidamente las instrucciones antes de su uso. Véase en las págs.0-26 y 0-27 las normas de seguridad y las precauciones generales relativas a los productos mencionados en este catálogo, y véase el texto para las precauciones más detalladas de cada serie.

#### Selección

#### ⚠ Advertencia

① Utilice la purga automática en las condiciones de trabajo que se indican a continuación. Si no se respeta esta precaución puede dar lugar a un funcionamiento defectuoso.

- 1) El compresor debe funcionar por encima de 3.7kw (400 l/min (ANR)).
- 2) Utilice el modelo AD402 a una presión de trabajo por encima de 0.1Mpa y el AD600 por encima de 0.3Mpa.

#### Conexionado

#### ⚠ Advertencia

① Conecte el conexionado a la purga automática en las condiciones que se indican a continuación. Si no se respeta esta precaución puede dar lugar a un funcionamiento defectuoso. Para conectar una tubería de descarga del condensado, utilice una tubería con un diámetro mín. de ø10, y una longitud máxima de 5m. Evite utilizar una tubería ascendente.

HA

ID

AMG

AFF

AM

FQ1

Productos relacionados



4.7-1

Fuente: SMC Corporation Perú S.A.C

## ANEXO G

**Combinaciones estándar**  
**Filtro de aire + Regulador + Lubricador**  
**AC10-A a AC40-A**

**Símbolo**

**Forma de pedido**

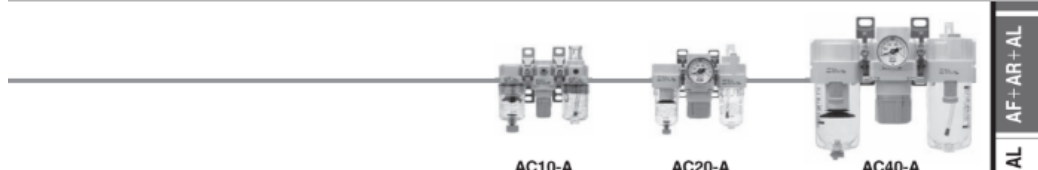
**AC** 30 -   03 DG -   -   - **A**

1      2      3      4      5      6

• Opción/semi-estándar: selección uno de cada de la a la m.  
 • Símbolo de opción/accesorios/semi-estándar: Cuando se requiera más de una especificación, indíquelas en orden alfabético.  
 Ejemplo) AC30-F03DM-KSTV-13NR-A

	Símbolo	Descripción	1						
			Tamaño del cuerpo						
			10	20	25	30	40		
2	Modelo roscado	—	Rosca métrica (M5)						
		N <small>Nota 1)</small>	Rc						
		F <small>Nota 2)</small>	NPT						
			G						
3	Tamaño de conexión	+	M5						
		01	1/8						
		02	1/4						
		03	3/8						
		04	1/2						
		06	3/4						
		+							
4	Opción <small>(ver 3)</small>	a	—	Sin purga automática					
			C <small>Nota 4)</small>	N.C. (normalmente cerrada) La conexión de purga está cerrada cuando no se aplica presión.					
			D <small>Nota 5)</small>	N.A. (normalmente abierta) La conexión de purga está abierta cuando no se aplica presión.					
			+						
b	Manómetro <small>Nota 6)</small>	—	Sin manómetro						
		G	Manómetro redondo (sin indicador de límite)						
			Manómetro redondo (con indicador de límite)						
		M	Manómetro redondo (con zonas en colores)						
5	Accesorios	c	—	Sin accesorios					
			K	Posición de montaje: AF+AR+K+AL					
		d	—	Sin accesorios					
			S <small>Nota 9)</small>	Posición de montaje: AF+AR+S+AL					
		e	—	Sin accesorios					
			T <small>Nota 10)</small>	Posición de montaje: AF+T+AR+AL					
		f	—	Sin accesorios					
			V	Posición de montaje: AF+AR+AL+V					
6	Semi-estándar	g	—	0.05 a 0.7 MPa					
			1	0.02 a 0.2 MPa					
		h	Vaso <small>Nota 10)</small>	—	Vaso de policarbonato				
				2	Vaso metálico				
				6	Vaso de nylon				
				8	Vaso metálico con indicador de nivel				
				C	Con protección del vaso				
				6C	Con protección del vaso (vaso de nylon)				

Fuente: SMC Corporation Perú S.A.C



	Símbolo	Descripción	① Tamaño del cuerpo					
			10	20	25	30	40	
6 Semi-estándar	i Conexión de purga de filtro de aire <small>Nota 13</small>	—	Con grifo de purga	●	●	●	●	●
		J <small>Nota 14</small>	Guía de purga 1/8	—	●	—	—	—
		W <small>Nota 15</small>	Guía de purga 1/4	—	—	●	●	—
		+	Grifo de purga con conexión con boquilla (para tubo de nylon ø6 x ø4)	—	—	●	●	●
	j Conexión de escape del lubricante del lubricador	—	Sin grifo de purga	●	●	●	●	●
		3 <small>Nota 16</small>	Lubricador con grifo de purga	●	●	●	●	●
	k Mecanismo de escape	—	Modelo con alivio	●	●	●	●	●
		N	Modelo sin alivio	●	●	●	●	●
	l Dirección del caudal	—	Dirección del caudal: de izquierda a derecha	●	●	●	●	●
		R	Dirección del caudal: de derecha a izquierda	●	●	●	●	●
m Unidades de presión	—	Placa de identificación y manómetro: MPa	●	●	●	●	●	
	Z <small>Nota 17</small>	Placa de identificación, placa de precaución para el vaso y manómetro: psi, °F	○ <small>Nota 18</small>	○ <small>Nota 18</small>	○ <small>Nota 18</small>	○ <small>Nota 18</small>	○ <small>Nota 18</small>	

Nota 1) La guía de purga es NPT1/8 (aplicable a la serie AC20-A) y NPT1/4 (aplicable a las series AC25-A a AC40-A). La conexión para la purga automática viene con una conexión instantánea ø3/8" (aplicable a las series AC25-A a AC40-A).

Nota 2) La guía de purga es G1/8 (aplicable a la serie AC20-A) y G1/4 (aplicable a las series AC25-A a AC40-A).

Nota 3) Las opciones G y M no están montadas y se envían sueltas.

Nota 4) Cuando no se aplica presión, el mecanismo de purga automática no se activa y el condensado permanece en el vaso. No obstante, se recomienda eliminar el condensado residual antes de finalizar la jornada laboral.

Nota 5) Si el compresor es pequeño (0.75 kW), caudal de descarga inferior a 100 L/min (ANR), al iniciarse el funcionamiento se puede producir una fuga de aire por el grifo de purga. Se recomienda el uso del modelo N.C.

Nota 6) Cuando se instale el manómetro, se instalará un manómetro de 1.0 MPa para el modelo estándar (0.7 MPa), manómetro de 0.4 MPa para el modelo de 0.2 MPa (manómetro de 1.0 MPa sólo para el modelo AC10-A).

Nota 7) No disponible con tamaño de conexión 06.

Nota 8) La posición de fijación varía en función del espaciador en T o del montaje del precableado.

Nota 9) La presión se puede ajustar a un valor superior a la presión especificada en algunos casos, aunque debe usarse dentro del rango de especificación.

Nota 10) Consulte los datos de prod. químicos en la página 38 para ver la resistencia del vaso a prod. químicos.

Nota 11) Se suministra una protección del vaso como equipo estándar (policarbonato).

Nota 12) Se suministra una protección del vaso como equipo estándar (nylon).

Nota 13) Purga automática tipo flotador. No es posible la combinación de C y D.

Nota 14) Sin función de válvula.

Nota 15) La combinación de vaso metálico 2 y 8 no está disponible.

Nota 16) Al seleccionarlo con W (conexión de purga del filtro), el grifo de purga de un lubricador tendrá conexiones con boquilla.

Nota 17) Para los tipos de rosca de conexión M5 y NPT. En la unidad de presión se muestran los valores en MPa y PSI simultáneamente. No se puede utilizar con M: Manómetro redondo (con zonas en colores). Disponible bajo pedido como ejecución especial.

Nota 18) (○): Para rosca de conexión M5 y NPT.

**Características técnicas estándar**

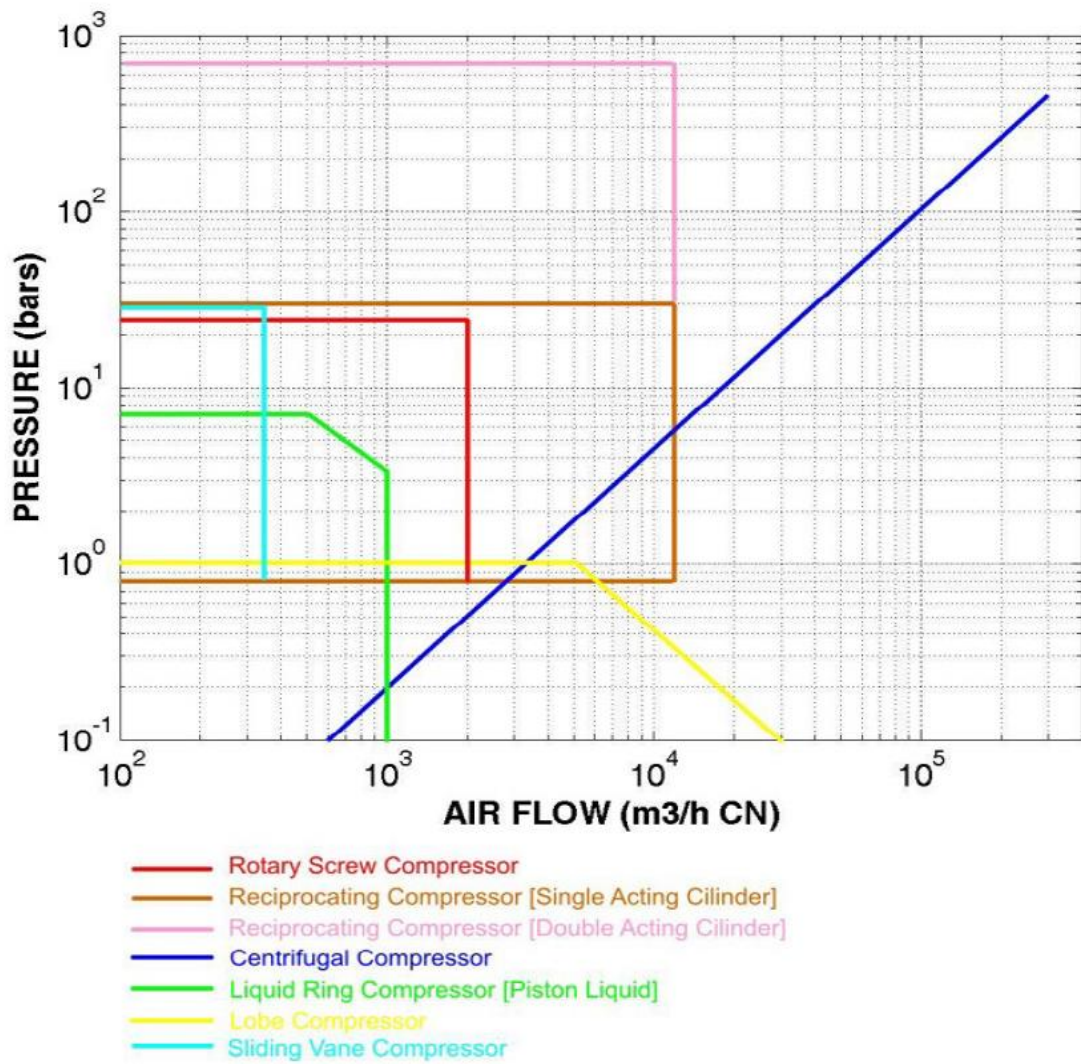
Modelo	AC10-A	AC20-A	AC25-A	AC30-A	AC40-A	AC40-06-A
Filtro de aire [AF]	AF10-A	AF20-A	AF30-A	AF30-A	AF40-A	AF40-06-A
Regulador [AR]	AR10-A	AR20-A	AR25-A	AR30-A	AR40-A	AR40-06-A
Lubricador [AL]	AL10-A	AL20-A	AL30-A	AL30-A	AL40-A	AL40-06-A
Tamaño de conexión	M5 x 0.8	1/8, 1/4	1/4, 3/8	1/4, 3/8	1/4, 3/8, 1/2	3/4
Tamaño de conexión de manómetro [AR]	1/16					1/8
Fluido	Aire					
Temperatura ambiente y de fluido	-5 a 60°C (sin congelación)					
Presión de prueba	1.5 MPa					
Presión máx. de trabajo	1.0 MPa					
Rango de presión de regulación [AR]	0.05 a 0.7 MPa					
Grado de filtración nominal [AF]	5 µm					
Lubricante recomendado [AL]	Aceite de turbina de clase 1 (ISO VG32)					
Material del vaso [AF/AL]	Policarbonato					
Protección del vaso [AF/AL]	—	Semi-estándar (Acero)	Estándar (Policarbonato)			
Diseño [AR]	Modelo con alivio					
Peso [kg]	0.27	0.40	0.68	0.83	1.53	1.66



Fuente: SMC Corporation Perú S.A.C

AF+AR+AL  
 AW+AL  
 AF+AR  
 AF+AR+AR  
 AF+AFM+AR  
 AW+AFM  
 AFM  
 AF  
 AFM/AFD  
 AR  
 AL  
 AW

## ANEXO H



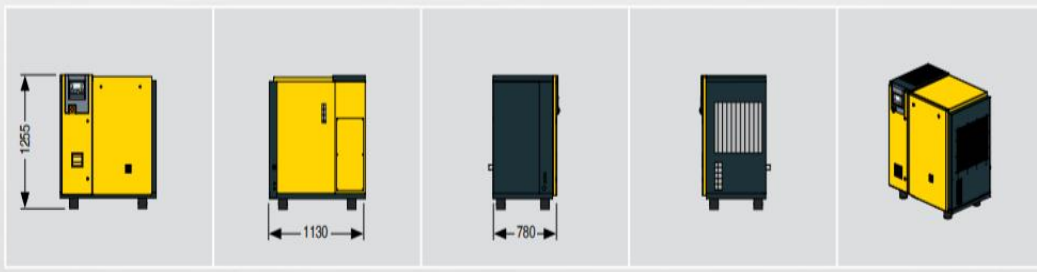
Fuente: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/tag/calculo-de-aire-comprimido/>

## ANEXO I

### Datos técnicos

Versión básica

Modelo	Presión de trabajo	Caudal*) total del paquete a la presión de trabajo	Presión máxima	Pot. nominal del motor	Dimensiones L x A x A	Conexión aire comprimido	Nivel de presión sonora **)	Peso
	psi	cfm	psi	hp	mm		dB(A)	kg
AS 20	125	92	125	20	1130 x 780 x 1255	G 1¼	67	390
	160	77	160					
	217	59	217					
AS 25	125	111	125	25	1130 x 780 x 1255	G 1¼	69	405
	160	94	160					
	217	72	217					
AS 30	125	124	125	30	1130 x 780 x 1255	G 1¼	71	420
	160	104	160					
	217	83	217					



Fuente: Catálogo KAESER Compresores



**COMPRESSOR DATA SHEET**

**Rotary Compressor: Fixed Speed**

**MODEL DATA - FOR COMPRESSED AIR**

1	Manufacturer: <b>Kaeser Compressors, Inc.</b>		
2	Model Number:	<b>AS 25 - 125 psig / 460V/3ph/60Hz</b>	Date: <b>4/14/2016</b>
	<input checked="" type="checkbox"/> Air-cooled <input type="checkbox"/> Water-cooled		Type: <b>Screw</b>
	<input checked="" type="checkbox"/> Oil-injected <input type="checkbox"/> Oil-free		# of Stages: <b>1</b>
3*	Rated Capacity at Full Load Operating Pressure <sup>a, c</sup>	<b>120</b>	acfm <sup>a, e</sup>
4	Full Load Operating Pressure <sup>b</sup>	<b>115</b>	psig <sup>b</sup>
5	Maximum Full Flow Operating Pressure <sup>c</sup>	<b>125</b>	psig <sup>c</sup>
6	Drive Motor Nominal Rating	<b>25</b>	hp
7	Drive Motor Nominal Efficiency	<b>91.7</b>	percent
8	Fan Motor Nominal Rating (if applicable)	<b>0.74</b>	hp
9	Fan Motor Nominal Efficiency	<b>76.5</b>	percent
10*	Total Package Input Power at Zero Flow <sup>e</sup>	<b>6.4</b>	kW <sup>e</sup>
11	Total Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>d</sup>	<b>23.3</b>	kW <sup>d</sup>
12*	Specific Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure <sup>e</sup>	<b>19.42</b>	kW/100 cfm <sup>e</sup>

Fuente: Catálogo KAESER Compresores

## ANEXO J



### TUBERIA GALVANIZADA

Esta tubería se galvaniza con el método de inmersión en caliente lo que proporciona una efectiva barrera física y catódica al acero, protegiéndolo contra la oxidación provocada por la intemperie, la alta humedad, los ambientes salinos o la acidez, entre otros.



#### VENTAJAS

- 1.) Fabricada bajo la norma ASTM A53 y galvanizada bajo la norma ASTM A123.
- 2.) Bajo mantenimiento
- 3.) Facilidad de instalación.
- 4.) Durabilidad de hasta 50 años.
- 5.) Se ofrece tubería lisa, con rosca o cople.
- 6.) No requiere de protecciones adicionales.

#### PROPIEDADES MECANICAS

Grado	Tensión		Cedencia		Elongación	
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	%	
A	330	3,364.94	205	2,090.34	20	
B	415	4,231.67	240	2,447.23	20	

#### DIMENSIONES Y PESOS

##### CEDULA 5

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared		Peso	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Kg/m	Kg/tonno 6.40
1/2	0.840	21.30	0.065	1.65	0.80	5.12
3/4	1.050	26.70	0.065	1.65	1.22	6.53
1	1.315	33.40	0.065	1.65	1.29	8.26
1 1/4	1.650	42.20	0.065	1.65	1.29	8.26
1 1/2	1.900	48.30	0.065	1.65	1.50	12.16
2	2.375	60.30	0.065	1.65	2.39	15.30
2 1/2	2.875	73.00	0.083	2.11	3.69	23.62
3	3.500	88.90	0.083	2.11	4.51	28.86
4	4.500	114.30	0.083	2.11	5.83	37.31

##### CEDULA 40

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared		Peso	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Kg/m	Kg/tonno 6.40
1/2	0.840	21.30	0.109	2.77	1.27	8.13
3/4	1.050	26.70	0.113	2.87	1.68	10.78
1	1.315	33.40	0.133	3.38	2.50	16.00
1 1/4	1.650	42.20	0.140	3.56	3.39	21.70
1 1/2	1.900	48.30	0.145	3.69	4.05	25.92
2	2.375	60.30	0.154	3.91	5.44	34.82
2 1/2	2.875	73.00	0.203	5.16	8.63	55.23
3	3.500	88.90	0.216	5.49	11.29	72.28
4	4.500	114.30	0.237	6.02	16.07	102.85

##### CEDULA 10

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared		Peso	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Kg/m	Kg/tonno 6.40
1/2	0.840	21.30	0.083	2.11	1.00	6.40
3/4	1.050	26.70	0.083	2.11	1.28	8.19
1	1.315	33.40	0.109	2.77	2.09	13.38
1 1/4	1.650	42.20	0.109	2.77	2.09	13.38
1 1/2	1.900	48.30	0.109	2.77	3.11	19.90
2	2.375	60.30	0.109	2.77	3.93	25.16
2 1/2	2.875	73.00	0.120	3.05	5.26	33.66
3	3.500	88.90	0.120	3.05	6.45	41.28
4	4.500	114.30	0.120	3.05	8.36	53.50

##### CEDULA 80

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared		Peso	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Kg/m	Kg/tonno 6.40
1/2	0.840	21.30	0.147	3.73	1.62	10.37
3/4	1.050	26.70	0.154	3.91	2.20	14.08
1	1.315	33.40	0.179	4.55	3.24	20.74
1 1/4	1.650	42.20	0.191	4.85	4.46	28.54
1 1/2	1.900	48.30	0.200	5.08	5.41	34.62
2	2.375	60.30	0.218	5.54	7.48	47.87
2 1/2	2.875	73.00	0.276	7.01	11.41	73.02
3	3.500	88.90	0.300	7.62	15.27	97.73
4	4.500	114.30	0.337	8.56	22.32	142.85

Fuente: <https://sigmaflow.mx/wp-content/uploads/TUBERIA-GALVANIZADA.pdf>



## ANEXO L



### 5. Equipamiento seleccionado y Descripción

ITEM 1: COMPRESOR DE AIRE.		
<b>Modelo:</b>	<b>AS 25</b>	
<b>Tipo de compresión:</b>	Tornillo lubricado de una etapa.	
<b>Control de capacidad:</b>	Dual (Carga-vacío-parada diferida)	
<b>Potencia nominal:</b>	18,5 kW (25 HP), 440 VAC-3ph-60Hz.	
<b>Presiones de trabajo:</b>	<b>Mínima 5.5 bar (80 psig)</b> <b>Máxima 11 bar (160 psig)</b>	
<b>Condiciones de Diseño</b>	<b>A 8,5 barg (125 psig)</b>	
<b>Capacidad Nominal:</b>	<b>3.40 m<sup>3</sup>/min (120 CFM)</b>	Según ISO 1217:2009, Anexo C.
<b>Potencia entrada:</b>	23.9 kW	(A máxima carga)
<b>Potencia entrada:</b>	6.4 kW	(En vacío)
<b>Potencia específica:</b>	19.94 kW/ (100 cfm)	(Eficiencia a máxima carga)
<b>Enfriamiento:</b>	Aire	
<b>Nivel de ruido:</b>	69 dB(A), Según ISO 2151 e ISO 9614-2, tolerancia ± 3dB(A)	
<b>Conexión salida aire:</b>	1 1/4" NPTF	
<b>Medidas (Lx Anx Al):</b>	800 x 1110 x 1530 mm	
<b>Peso:</b>	505 Kg	
<b>Equipamiento Principal:</b>		
<b>Tablero fuerza:</b>	Tipo Estrella triangulo, cumple normativas CE, UL.	
<b>Panel de Control:</b>	Electrónico, modelo Sigma Control 2™.	
<b>Separador de líquidos:</b>	Material Inoxidable.	
<b>Drenaje automático:</b>	ECO-Drain, libre de pérdidas por sensor de nivel.	
<b>Secador:</b>	-	

Fuente: Catálogo KAESER compresores.

## ANEXO M



### II. PROPUESTA COMERCIAL

#### 6. Resumen de Precios:

Item	DESCRIPCION		PRECIO UNIT.	Cant	PRECIO SUB.TOTAL
1	Compresor (Tipo Tornillo Rotativo Lubricado)	AS 25	USD 11,711.74	1	USD 11,711.74
2	Secador (Tipo Regenerativo)	TCH 33	USD 2,952.00	1	USD 2,952.00
3	Pre Filtro (Microfiltro)	F46KE	USD 573.71	1	USD 573.71
4	Post Filtro (Microfiltro de partículas finas y aerosoles)	F46KD	USD 573.71	1	USD 573.71
5	Tanque Reservorio (Galvanizado y normado) Incluye: Accesorios (Manómetro, válvula de alivio y bola, dren manual)	T11-350	USD 1,828.62	1	1,828.62
<b>TOTAL</b>					<b>USD 17,639.77</b>

**PRECIOS:** En dólares americanos (USD), No incluye el IGV (18%).

**GARANTIA:** Un (1) año, por defectos de fabricación.

**FORMA DE PAGO:** Contado y/o alternativa mutua a convenir.

**TIEMPO DE ENTREGA:** En stock salvo venta previa.

**LUGAR DE ENTREGA:** Nuestros almacenes en Chorrillos - Lima.

**VALIDEZ DE OFERTA:** 30 días a partir de la fecha de recepción.

**GARANTIA:**

Dos (1) años para el bloque compresor SIGMA.

Un (1) año para el resto de los componentes y demás ítems.

"En todos los casos la garantía cubre defectos de materiales y / o fabricación".

"Garantía extendible a cinco (5) años mediante convenio de servicio".

**ARRANQUE:**

El arranque, calibración, inspección de la instalación y capacitación al personal en el manejo del equipo, así como los manuales de instrucciones y partes, están incluidos dentro del precio del equipo, siempre que el arranque sea dentro de Lima, Trujillo y Arequipa Metropolitana, si el arranque se diera fuera de estas ciudades, se cobrará los viáticos para el traslado del personal a la Zona de Trabajo.

Fuente: Catálogo KAESER Compresores



## ANEXO Ñ

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda						
ACTUALIZACIONES DISPONIBLES Las actualizaciones de Office están listas para la instalación, pero antes tener						
J47						
A	B	C	D	E	F	
<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>						
3	<b>PROYECTO</b>	: Diseño de un sistema de aire comprimido para el laboratorio de maquinas y herramientas UNIBG				
4	<b>LUGAR</b>	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann				
5	<b>ELAB. POR</b>	: Bach. Yhon Rene Mamani Quispe				
6	<b>FECHA</b>	: 17/01/2020				
<b>Elementos que conforman la red primaria</b>						
Item	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
1	Compresor	und	1	30,000.00	S/ 30,000.00	
2	Pre Filtro de tratamiento	und	1	1,200.00	S/ 1,200.00	
3	Secador refrigerativo	und	1	5,000.00	S/ 5,000.00	
4	Post Filtro	und	1	1,200.00	S/ 1,200.00	
5	Acumulador con valvula	und	1	4,000.00	S/ 4,000.00	
6	Valvula antirretorno	und	1	50.00	S/ 50.00	
7	Tubo acero galvanizado 1 1/4 pulg (cedula 40)	6 m c/u	1	20.00	S/ 20.00	
8	Codo 90° de r=2d	und	2	7.00	S/ 14.00	
9	Pieza en T	und	1	5.00	S/ 5.00	
<b>Elementos que conforman la red secundaria</b>						
Item	Materiales	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	
10	Tubo acero galvanizado de 1 pulg (cedula 40)	6 m c/u	4	18.00	S/ 72.00	
11	Pieza en T	und	4	4.00	S/ 16.00	
12	Codo de 90 de r=2d	und	3	5.00	S/ 15.00	
13	Bekomat	pza	2	400.00	S/ 800.00	
<b>Elementos que conforman la red servicio</b>						
Item	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
14	Tubo acero galvanizado de ½ pulg (cedula 40)	6 m c/u	2	16.00	S/ 32.00	
15	Pieza en T de ½ in	und	4	4.00	S/ 16.00	
16	Codo de 90 de ½ in	und	8	5.00	S/ 40.00	
17	Purgador automático	pza	4	125.00	S/ 500.00	
18	Válvula tipo globo	und	4	90.00	S/ 360.00	
19	Filtro y regulador de aire	und	3	250.00	S/ 750.00	
20	F.R. L. (Unidad de mantenimiento)	und	1	300.00	S/ 300.00	
21	Carrete de manguera	jgo	4	70.00	S/ 280.00	
<b>TOTAL PARTIDAS A SUMA ALCANZADA</b>					<b>S/ 40,670.00</b>	

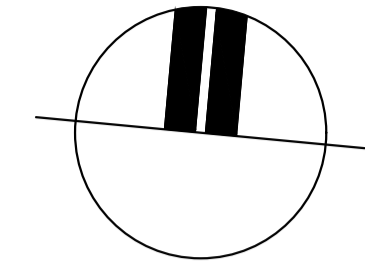
Fuente: Elaboración propia.

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda						
ACTUALIZACIONES DISPONIBLES Las actualizaciones de Office están listas para la instalación, pero antes tener						
H85						
A	B	C	D	E	F	
<b>ACCESORIOS QUE CONFORMAN LA RED</b>						
Item	Material	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
1	Reductores (Bushing)	und	1	3.00	S/ 3.00	
2	Perno de expansion	und	5	5.00	S/ 25.00	
3	Neplos de 1 y 3/4 pulg	und	1	1.50	S/ 1.50	
4	Teflon industrial PTFE	und	8	12.00	S/ 96.00	
5	Sellador industrial	und	2	27.00	S/ 54.00	
6	Clavo calaminero	und	50	0.12	S/ 6.00	
7	Malla metalica 3x1 m c/u	m	5	30.00	S/ 150.00	
8	Madera 3m c/u	m	5	30.00	S/ 150.00	
9	Calamina	und	3	14.00	S/ 42.00	
10	Sujetadores	und	48	1.00	S/ 48.00	
11	Union de tuberias	und	1	2.00	S/ 2.00	
<b>TOTAL PARTIDAS A SUMA ALCANZADA</b>					<b>S/ 624.00</b>	
<b>COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA</b>						
Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
1	Coste instalación eléctrica	m3	45	66.66	S/ 3,000.00	
2	Coste de instalacion mecanica	m3	200	50.00	S/ 10,000.00	
3	Coste de instalacion civil	m3	36	55.55	S/ 2,000.00	
<b>TOTAL PARTIDAS A SUMA ALCANZADA</b>					<b>S/ 15,000.00</b>	
<b>COSTOS DE MATERIALES INDIRECTOS</b>						
Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
1	Tarraje	jgo	1	150.00	S/ 150.00	
2	Broca 5/16	und	2	22.00	S/ 44.00	
3	Broca 1/4	und	2	8.00	S/ 16.00	
4	Broca 3/16	und	2	14.00	S/ 28.00	
<b>TOTAL PARTIDAS A SUMA ALCANZADA</b>					<b>S/ 238.00</b>	
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>						
Detalles	Descripcion	Parcial				
	Costo de accesorios	S/ 624.00				
Costos Diectos	Costo de materiales y equipos	S/ 40,670.50				
	Mano de obra directa	S/ 238.00				
Costos Indiectos	Costo de materiales indirectos	S/ 15,000.00				
<b>TOTAL PARTIDAS DEL PROYECTO SUMA ALCANZADA</b>		<b>S/ 56,532.00</b>				


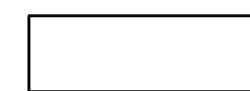
## **PLANOS**

AVENIDA MIRAFLORES

N.M.



**SIMBOLOGÍA**

-  CONSTRUCCIÓN EXISTENTE
-  POR CONSTRUIR

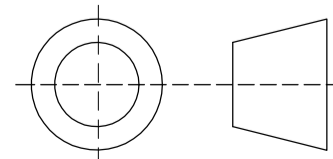
AVENIDA CUSCO

CALLE NUEVA



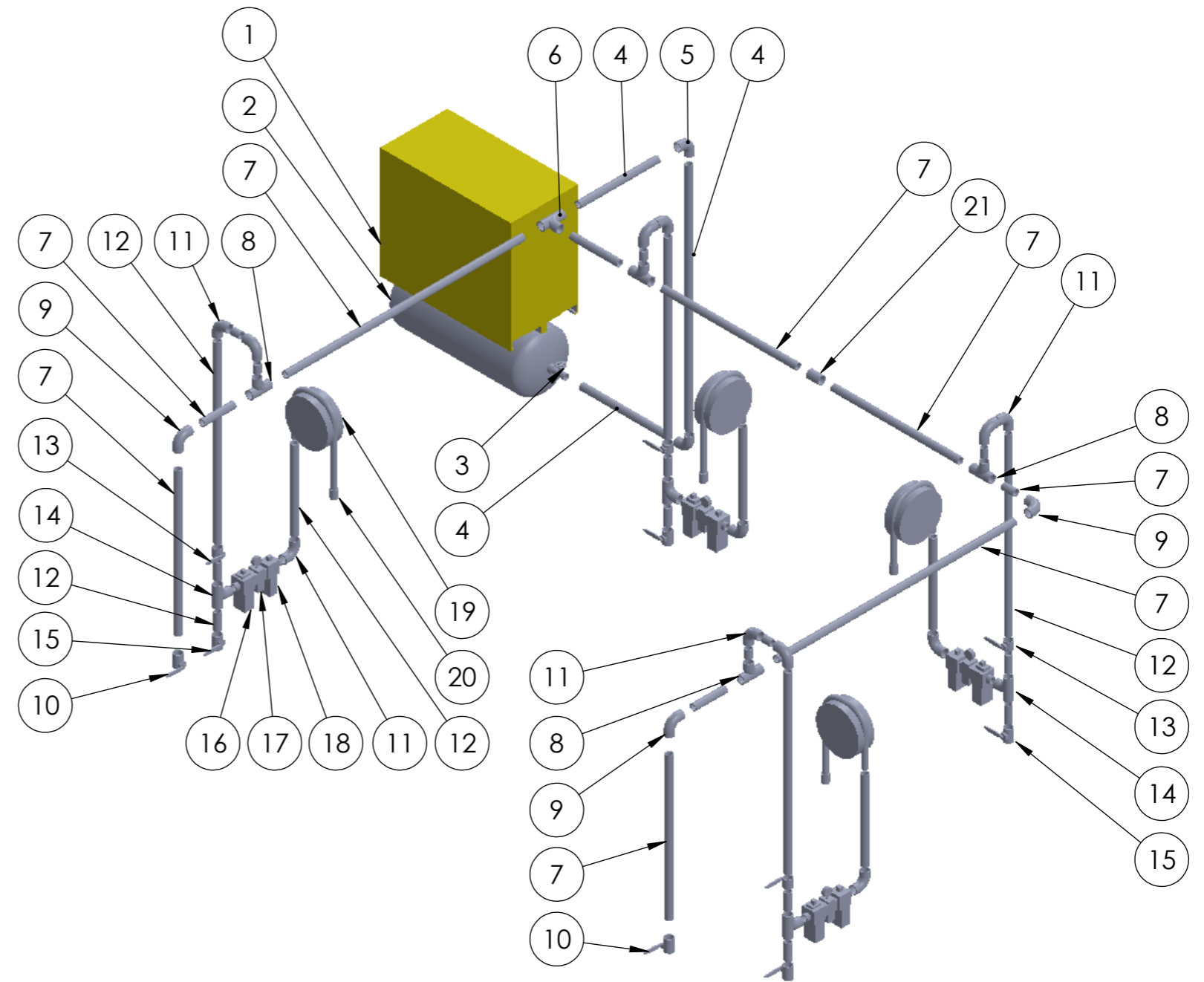
**UBICACIÓN DE LA E.P. ING. MECÁNICA**

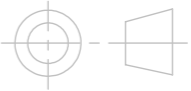


				UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN	
DIBUJADO	Bach. Yhon René Mamani Quispe	2019-11-22		DE NO INDICARSE LO CONTRARIO: LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILIMETROS	PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
DISEÑADO	Bach. Yhon René Mamani Quispe	2019-11-22			
REVISADO					A 3 TÍTULO: DISTRIBUCIÓN DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNJBG REV 01
REVISADO					ESCALA: 1:1000 PESO: kg N. DE DIBUJO: DS - AC - 01
REVISADO					

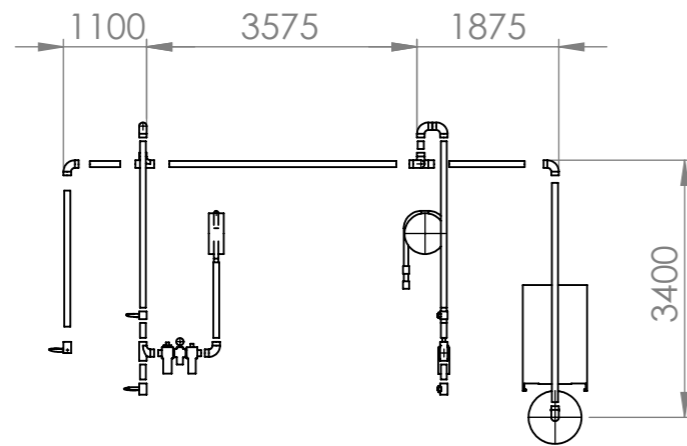
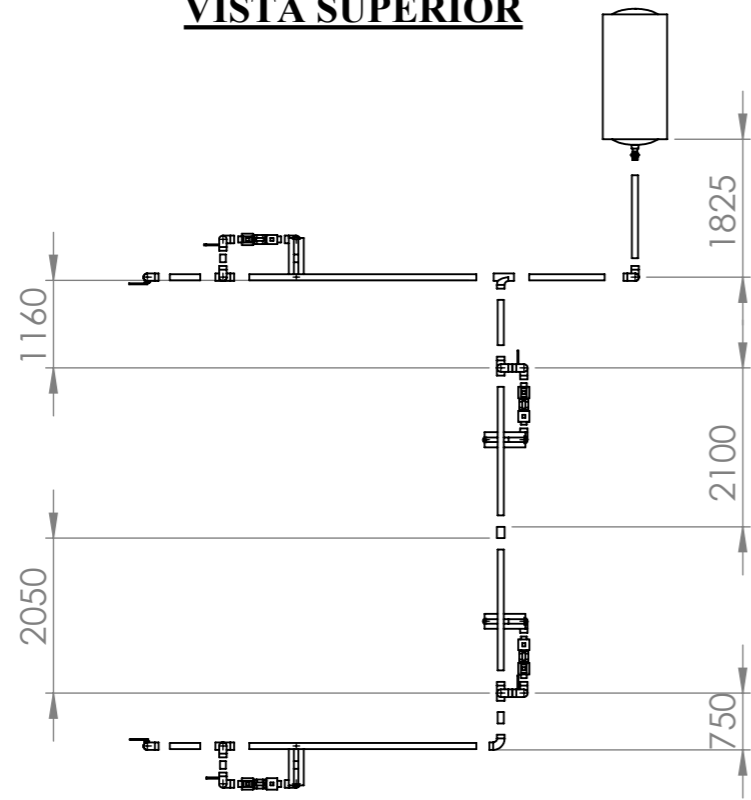


ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED PRIMARIA		
ÍTEM	MATERIAL	CANTIDAD
1	Compresor , filtro micrónico, secador de aire y filtro	1
2	Acumulador	1
3	Válvula del acumulador y válvula antiretorno	1
4	Tubería de acero galvanizado 1 1/4 pulg	1
5	Codo 90° de 1 1/4 pulg	2
6	Pieza en T	1
ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED SECUNDARIA		
ÍTEM	MATERIAL	CANTIDAD
7	Tubería de acero galvanizado 1 pulg	4
8	Pieza en T de 1 pulg	4
9	Codo de 90° de 1 pulg	3
10	Separador de agua con purga (Bekomat y Owamat)	2
ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED DE SERVICIO		
ÍTEM	MATERIAL	CANTIDAD
11	Codo de 90° de 3/4 pulg	12
12	Tubería de acero galvanizado 3/4 pulg	2
13	Válvula tipo globo	4
14	Pieza en T de 3/4 pulg	4
15	Separador de agua con purga automática	4
16	Filtro de aire	4
17	Regulador de presión	4
18	Lubricador	4
19	Carrete de manguera	4
20	Toma de aire	4
21	Unión de tubería	1



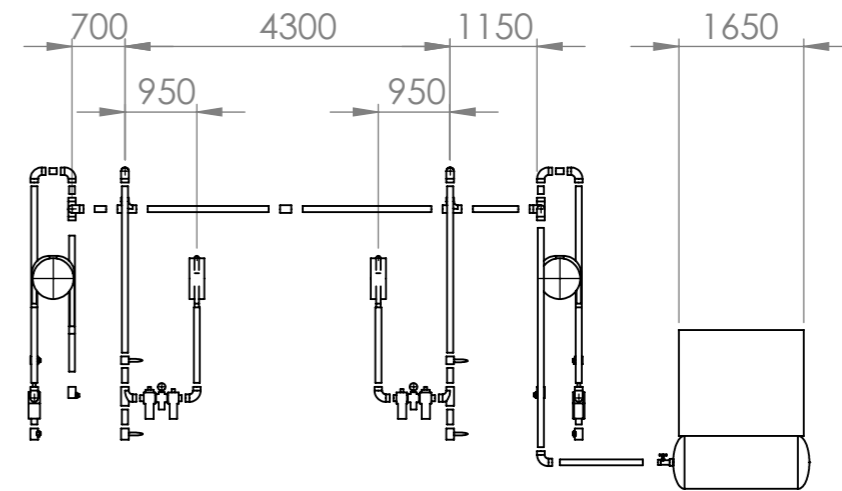
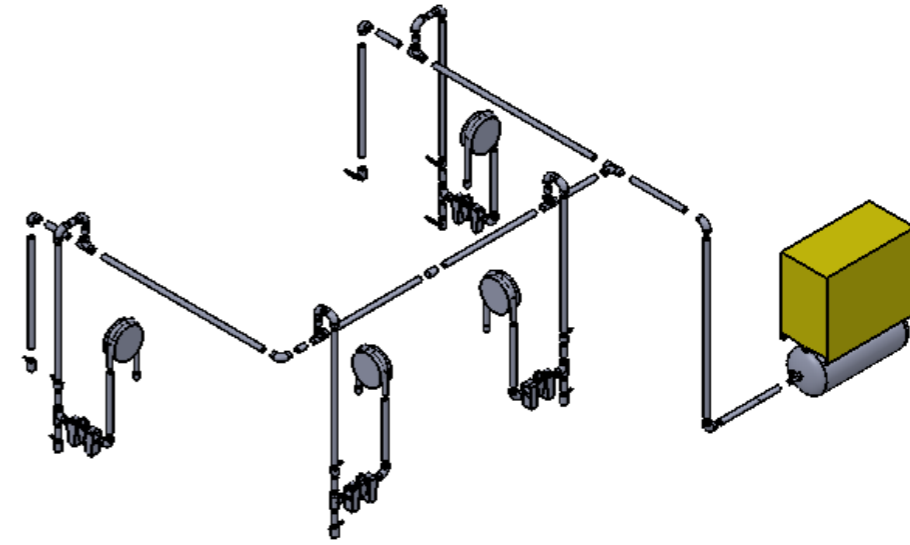
NOMBRE		FECHA	FIRMA	De no indicarse lo contrario: Las medidas están en milímetros	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN		
DIBUJADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-22			PROYECTO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	
DISEÑADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-22			TÍTULO:	REV	
REVISADO					A3	RED DE AIRE COMPRIMIDO	01
REVISADO					ESCALA: 1:50	PESO: kg	N.º DE DIBUJO: DS-AC- 03

**VISTA SUPERIOR**



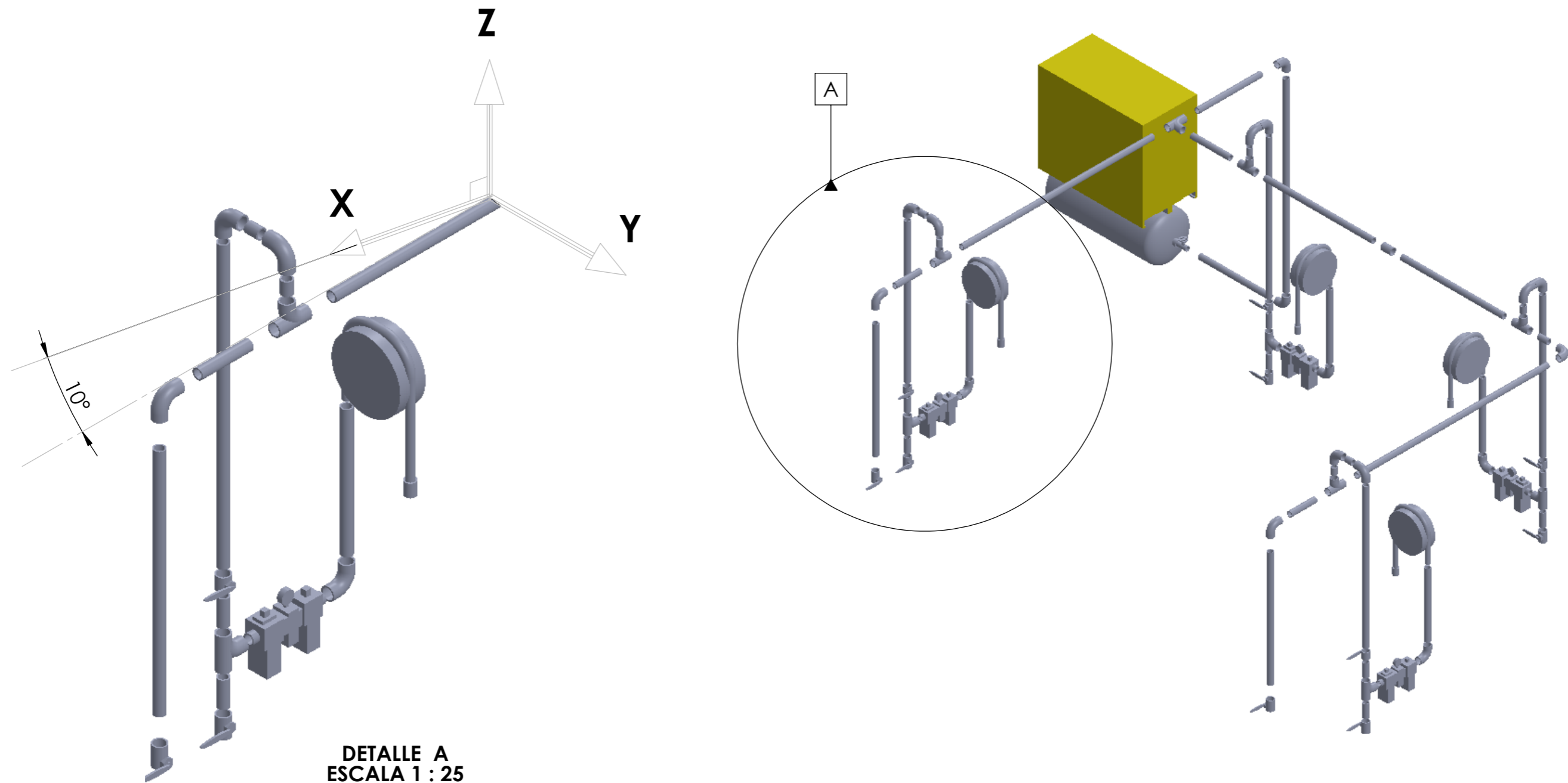
**VISTA FRONTAL**

**VISTA ISOMÉTRICA**



**VISTA LATERAL**

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	De no indicarse lo contrario: Las medidas están en milímetros	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN		
DIBUJADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-22				PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	
DISEÑADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-19			A3	TÍTULO: RED DE AIRE COMPRIMIDO	01
REVISADO					ESCALA: 1:100	PESO: kg	N.º DE DIBUJO: DS -AC- 04
REVISADO							
REVISADO							



**NOTA:**

El tipo de red está formada por tuberías que parten desde el compresor y se ramifican hasta llegar a los puntos de consumo, se debe permitir una leve inclinación en favor del sentido del flujo para facilitar la extracción del condensado, dicha pendiente debe ser de 2 % a 3 %, que viene a ser un ángulo de 10 grados de inclinación.

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	De no indicarse lo contrario: Las medidas están en milímetros	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN		
DIBUJADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-22				PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	
DISEÑADO	Bach. Yhon Mamani Quispe	2019-11-22			A3	TÍTULO: INCLINACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TUBERÍAS	REV 01
REVISADO							
REVISADO							
REVISADO						ESCALA: 1:50	PESO: kg
						N.º DE DIBUJO: DS -AC- 05	