



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE
COMPRIMIDO PARA UNA MÁQUINA ENVASADORA
DE LÍQUIDO EN LA EMPRESA SICARSA”**

EDGAR FABIÁN SÁNCHEZ CARRIÓN

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Septiembre, 26 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

SÁNCHEZ CARRIÓN EDGAR FABIÁN

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO
PARA UNA MÁQUINA ENVASADORA DE LÍQUIDO EN LA EMPRESA
SICARSA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodrigo Díaz

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Lema

ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SÁNCHEZ CARRIÓN EDGAR FABIÁN

TÍTULO DE LA TESIS:“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA MÁQUINA ENVASADORA DE LÍQUIDO EN LA EMPRESA SICARSA”

Fecha de Examinación:26 de septiembre de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Rodrigo Díaz (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Jorge Lema (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Edgar Fabián Sánchez Carrión

DEDICATORIA

A Dios por llenar de protección y bendiciones a mi vida.

A mis padres: Edgar y Janett por ser el ejemplo de esfuerzo y dedicación, depositando su entera confianza en cada reto que se me presenta, a mi hermana María Gabriela que con sus logros siempre ha sido un modelo de vida para mí.

A Jessica para que continúe alcanzando sus metas, a mi familia, amigos y amigas que han demostrado su desinteresado apoyo.

Edgar Fabián Sánchez Carrión

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, por brindarme la oportunidad de tener una formación académica y ética de excelencia, para ser una persona útil para la sociedad.

Un agradecimiento especial al Ing. Rodrigo Díaz Director de Tesis por su dirección y asesoramiento permanente en el desarrollo investigativo. A la empresa SICARSA por brindarme las facilidades para desarrollar el presente proyecto.

Fabián Sánchez Carrión

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Situación del problema.....	2
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Justificación técnico – económica.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos:.....	4
2. MARCO TEÓRICO REFERENTE AL DISEÑO DE INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO.	6
2.1 Introducción.....	6
2.1.1 Conducción del aire comprimido.....	6
2.1.2 Nivel sonoro.....	8
2.1.3 Depósito de aire.....	10
2.1.4 Sala de compresores.....	14
2.1.5 Deshumidificación del aire comprimido.....	20
2.2.6 Purgadores.....	30
3. DISEÑO, SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y PARTES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO DE LA EMPRESA SICARSA.....	57
3.1 Generalidades.....	57
3.1.1 Presión de trabajo.....	57
3.1.2 Caída mínima de presión.....	57
3.1.3 Pérdidas por fugas mínimas.....	58
3.2 Consumo específico.....	58

3.3	Coefficiente de utilización.....	58
3.4	Coefficiente de simultaneidad.	58
3.5	Consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos.	58
3.6	Número de compresores.....	62
3.7	Diseño de la red de distribución de aire comprimido.	63
3.7.1	Disposición de red de aire.	63
3.8.	Red de distribución	63
3.9.	Selección de elementos.	75
3.9.1	Selección de la alternativa sobre el tipo de compresor.	75
3.9.2	Selección de la alternativa sobre la acumulación del aire comprimido.	76
3.9.3	Selección de accesorios.....	78
4.	COSTOS Y MANTENIMIENTO.....	84
4.1	Costos.....	84
4.1.1	Costos directos	84
4.1.2	Costos indirectos.	86
4.2	Mantenimiento.	92
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1	Conclusiones	97
5.2	Recomendaciones.....	98

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA.

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Capacidad de los depósitos	12
2 Impurezas encontradas en el aire	17
3Calidad del aire comprimido	17
4Calidad del aire	20
5 Contenido de vapor de agua según la temperatura	20
6 Rugosidad en tubos.....	35
7 Tubos de acero.....	36
8 Tubos de cobre.....	36
9 Manguera de caucho neopreno	37
10 Tubo de poliamida	38
11 Manguera de caucho neopreno	38
12 Manguera de teflón.....	39
13 Fugas de aire en orificios de tubería.....	48
14 Velocidades máximas recomendadas.....	48
15 Coeficiente de utilización.....	49
16 Coeficiente de simultaneidad.....	49
17 Pérdida de presión de los accesorios expresada en metros de tubería recta.....	50
18 Coeficiente de utilización de la máquina envasadora.....	58
19 Coeficiente de simultaneidad de la máquina envasadora	58
20 Consumo de aire por centímetro.....	60
21 Elementos neumáticos para el mantenimiento	64
22 Longitud equivalente de accesorios.....	66
23 Longitud equivalente de accesorios 1 ¼”	68
24 Diámetros de la red de distribución.....	69
25 Tipos de compresores	76
26 Accesorios de la red de aire comprimido	78
27 Tabla de racores.....	78
28 Tabla de dimensiones y referencia de racor.	79
29 Datos técnicos de la unidad de mantenimiento.	79
30 Datos técnicos del purgador FESTO	82
31 Caudal nominal del purgador	82

32	Condiciones de funcionamiento del purgador	82
33	Datos técnicos de la pistola de aire.....	83
34	Costos de materia prima.	85
35	Costo de la mano de obra.	85
36	Costos de equipos y herramientas.	86
37	Costo total directo.....	86
38	Costos de diseño.	87
39	Total costos indirectos	87
40	Costo total de la red de aire comprimido.....	87
41	Depreciación del sistema	88
42	Flujo de caja de la empresa SICARSA.....	89
43	V.A.N del proyecto.....	88
44	T.I.R del proyecto	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Máquina envasadora de la empresa SICARSA 2
2	Coste comparativo de distintas formas de energía. 3
3	Escala de Sonido..... 9
4	Depósitos, acumuladores intermedios y colectores 10
5	Depósitos de aire vertical y horizontal. 11
6	Volumen del acumulador de aire comprimido 14
7	Compresor y elementos auxiliares..... 15
8	Punto de rocío..... 22
9	Diagrama de Mollier..... 23
10	Unidad de mantenimiento..... 25
11	Filtro-regulador-lubricador 26
12	Filtro-regulador..... 26
13	Filtro-lubricador 27
14	Regulador-lubricador..... 27
15	Regulador de Presión..... 28
16	Funcionamiento regulador de presión 28
17	Lubricador 29
18	Purgador de boya. 31
19	Montaje sin tubo de equilibrio..... 31
20	Montaje con tubo de equilibrio..... 32
21	Válvula de purga..... 33
22	Distancia máxima entre apoyos en redes de distribución de aire comprimido .. 39
23	Racores representativos. 41
24	Racor Universal 42
25	Racor instantáneo 42
26	Racor instantáneo 43
27	Red abierta..... 44
28	Inclinación de tuberías..... 44
29	Red cerrada 45
30	Red mixta..... 46
31	Potencia en función de la velocidad.. 51

32	Caída de presión en función de la velocidad	52
33	Cilindro de doble efecto máquina envasadora.....	53
34	Cilindro neumático doble efecto.....	54
35	Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido.....	55
36	Máquina envasadora de líquidos de la empresa SICARSA.	59
37	Diagrama de movimientos de los cilindros neumáticos de la máquina envasadora	59
38	Cilindro central de la máquina envasadora.....	60
39	Cilindro de la máquina envasadora de líquidos.....	61
40	Cilindro de la máquina envasadora	62
41	Red de distribución	65
42	Nomograma para determinar las pérdidas de presión en tuberías	69
43	Selección de compresor	75
44	Unidad de mantenimiento FESTO	80
45	Purgador FESTO	81
46	Pistola de aire FESTO	83
47	Unidad de mantenimiento.....	95

LISTA DE ABREVIACIONES

IESS	Instituto Ecuatoriano de seguridad social.	
ASME	American Society of Mechanical Engineers.	
DIN	Deutsches Institut für Normung (en Instituto Alemán de Normalización).	español,
ISO	Organización Internacional de Normalización	
Cu	Coeficiente de utilización.	
Cs	Coeficiente de Simultaneidad.	
Le	Longitud equivalente.	
Z	Frecuencia de conmutación.	
Qt	Caudal de aire comprimido total.	

LISTA DE ANEXOS

- A** Pérdida de la presión en mangueras.
- B** Consumo de aire para cilindros neumáticos.
- C** Catálogo de purgadores FESTO.
- D** Catálogo de pistolas de aire FESTO.
- E** Catálogo de unidades de mantenimiento FESTO.
- F** Flujo de caja proyectado de la empresa SICARSA

RESUMEN

Se ha diseñado una red de aire comprimido para la empresa SICARSA, que tiene como finalidad la circulación de aire comprimido eficientemente por tuberías y accesorios hacia los puntos de consumo incluyendo diferentes herramientas y equipos entre los cuales se encuentra una máquina automática envasadora de líquidos.

El trabajo incluye el cálculo del caudal necesario para el correcto funcionamiento de la planta, tomando en cuenta el coeficiente de utilización y factor de simultaneidad. También se determina el diámetro interior de la tubería por la cual circulará el aire comprimido hacia los puntos de consumo, así como las pérdidas de presión que las mismas conllevan tratando de mantenerlas en un rango adecuado.

La red de aire comprimido se la dispone de una manera abierta, accesorios que se seleccionan para la red de aire comprimido se toman en cuenta factores que son exclusivamente datos de la red como presión, caudal, costo y calidad de aire que se necesite. Para el depósito se dimensiona de acuerdo al consumo total de la planta, la pérdida de presión y la conmutación por hora.

El mantenimiento preventivo de la red de aire comprimido es un factor muy importante para prolongar la vida útil de la misma y de sus componentes. También se tiene los diferentes problemas comunes que pueden presentar en la red y sus componentes, así como las soluciones posibles para las diferentes dificultades expuestas.

El proyecto contiene el costo que tiene el tendido de la red de aire, así como el análisis financiero para la recuperación de la inversión de la empresa.

ABSTRACT

A compressed air network has been designed for the SICARSA enterprise in order to circulate the compressed air efficiently through pipes and accessories toward the consumption points including different tools and equipment such as an automatic bottling liquid filling machine.

The necessary flow estimation for the proper plant running is included in this research talking into account the usage coefficient and simultaneity factor. Besides, the inner pipe diameter is determined in which the compressed air will flow toward the consumption points and the pressure losses trying to keep them in a suitable rate.

The compressed air network is available completely; the network data such as the air pressure, flow, cost and quality are considered in the chosen accessories for the compressed air network. The deposit is dimensioned according to the total plant consumption, pressure loss and commutation per hour.

The preventive compressed air network maintenance is a very important factor to extend its lifespan and components. In addition, further problems presenting in the network and its components and possible solutions are considered.

The project includes both the air network cost and the financial analysis for the enterprise investment recovery.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades.

La energía interviene en todo proceso industrial y es necesario encontrar la más apta para cada aplicación especificada, con el objetivo de encontrar ahorro tanto económico como de la energía.

El hombre ha utilizada a través de la historia la impulsión del aire para su supervivencia como para accionar una cerbatana o encender el fuego. Pero su desarrollo fue hasta el siglo XVII cuando el estudio de los gases fue el objeto de investigación de varios científicos, y no han terminado todavía.

En el siglo XIV aparecen las primeras máquinas neumáticas y cien años más tarde aparece publicaciones de libros sobre “La utilización de aire comprimido en los talleres americanos” (1904) y sobre “El sistema de aire comprimido en el astillero imperial de Kiel” (1904). [1]

Todos estos esfuerzos a través del tiempo han llevado que el aire comprimido en los últimos años ha experimentado un crecimiento sin precedentes llegando así según varios autores a ocupar el segundo lugar como fuente de energía utilizada en la industria, luego de la energía eléctrica. Esto se debe en parte a que el aire comprimido presenta un alto porcentaje de adaptación y la fuente es inagotable (aire); la flexibilidad del aire comprimido lleva a que sea utilizado para labores especiales.

Cabe recalcar que otra de las facilidades es que el aire se lo puede almacenar en depósitos fijos o móviles y es una energía limpia que no contamina.

Con este tipo de energía se puede lograr grandes velocidades, es por ello que se lo utiliza en equipos como: pulidoras, lijadoras, fresadoras, destornilladores, pistolas limpiadoras y para pintar, equipos médicos, equipos de medición automático de presión, etc.

En una instalación de aire comprimido se describen en si dos puntos indispensables: la creación de aire comprimido y las redes de tubería por las cuales llega el aire.

En una instalación de aire comprimido se describen en si dos puntos indispensables: La creación de aire comprimido y las redes de tubería por las cual, llega aire a los distintos puntos de utilización.

En estos puntos se debe tener cuidado ya que en ellos se puede producir una pérdida de energía que es preferible evitar, porque puede accionar a los actuadores a presiones incorrectas y para tener ahorro de esta energía.

1.2 Situación del problema.

La utilización de aire comprimido para la industria es muy divulgada, pero la calidad del mismo depende de la utilización que se le va a dar.

La empresa SICARSA que va a dedicarse a la producción de alimentos para consumo humano por medio de una máquina envasadora, debe tener aire de una calidad alta, así mismo los componentes y materiales usados deben garantizar que el producto final sea inocuo.

La máquina de envasado ofrece un moderno sistema de empacado y envasado de líquidos. Todos los movimientos de la máquina se efectúan con accionamientos neumáticos, lo que reduce al mínimo la cantidad de mecanismos que sufren desgaste y por consiguiente su mantenimiento.

Figura 1. Máquina envasadora de la empresa SICARSA



Fuente: Autor

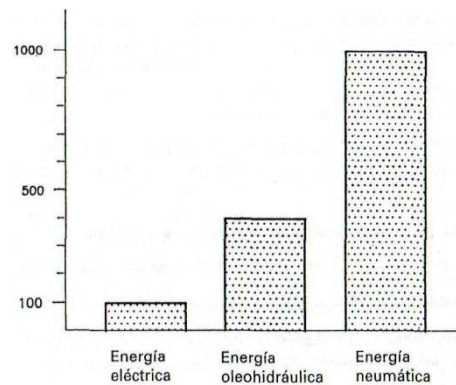
Una máquina envasadora de líquido su función principal es colocar la sustancia en cantidad o volumen establecido en envases y recipientes. Esto se lo realiza mediante la dosificación la cual permite que no se arroje ni desperdicie material ya que esto incurre en un aumento del costo final del producto.

Como la máquina envasadora funciona con aire comprimido, y la función es empaquetar productos alimenticios; por lo tanto el aire comprimido no debe contener partículas de suciedad, aceite o ningún elemento que pueda perjudicar el producto final. Al elaborar productos para consumo humano la normativa que lo rige es estricta.

La calidad de los materiales de los elementos deberá garantizar que no produzca corrosión y tenga una rugosidad aceptable para evitar caídas de presión indeseadas.

Otro argumento es que toda empresa debe recuperar la inversión hecha, por lo cual si vemos un cuadro comparativo del costo de esta energía se tiene que es una de las más costosas. Cabe recalcar que no se refiere al coste de instalación.

Figura 2. Coste comparativo de distintas formas de energía.



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”

Esto es debido a que es un proceso complejo ya que al aire se lo debe tratar con los siguientes elementos: secadores, filtros, colectores de condensado, tubería, unidades de mantenimiento para el uso.

La producción de la empresa debe cubrir en el menor tiempo posible el costo de los elementos e instalación que se lo analizará más adelante.

1.3 Antecedentes.

Al buscar el progreso económico de una provincia, nos lleva a la creación de nuevas empresas, las cuales para su conformación necesitan de profesionales que asesoren correctamente el proceso industrial.

La empresa se dedicará al servicio de productos de consumo masivo, que a la vez satisface una necesidad, involucra un aumento de la productividad de la provincia así como la del país.

Al manejar un producto que va a ser ingerido por el ser humano se necesita estándares químicos, físicos y en este caso mecánicos que van a ser utilizados por la empresa. Así mismo se necesitan que todas sus instalaciones desde el punto de vista técnico sean eficientes para un uso correcto de energía de la fábrica.

Por esta razón se quiere demostrar a la sociedad que estamos en la capacidad de probar que los conocimientos adquiridos están acorde con el avance tecnológico y al servicio de la sociedad.

1.4 Justificación técnico – económica.

La puesta en marcha del presente proyecto tiene como prioridad la aplicación de los conocimientos técnico-científicos en el sector industrial, para optimizar tiempo, recursos y lograr un alto grado de seguridad industrial acorde con las tendencias tecnológicas actuales.

Un correcto diseño en las instalaciones nos va a permitir una reducción en los gastos de instalación y mantenimiento de la maquinaria y equipo, como resultado tendremos una prolongada vida útil de los equipos.

Al realizar técnicamente el diseño se tendrá un ahorro energético considerable, no únicamente en el aspecto económico sino que va de la mano en el cuidado ambiental, en el cual existen normas exigentes actualmente.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general. Diseñar un sistema de distribución de aire comprimido para una máquina envasadora de líquido en la empresa SICARSA.

1.5.2 Objetivos específicos:

Identificar la información necesaria para diseñar y seleccionar las instalaciones de aire comprimido.

Realizar el análisis de los diferentes tipos de alternativas de instalaciones conforme a los planos de la empresa.

Efectuar el diseño y distribución correcta de los elementos seleccionados, tratando de manejar conceptos de estética.

Evaluar el costo de los componentes e instalación de los mismos.

Realizar conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENTE AL DISEÑO DE INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO.

2.1 Introducción.

Al aire comprimido usado como energía, al ser una de las fuentes más importantes usadas en las industrias ya sean éstas grandes o pequeñas actualmente.

La difusión del uso del aire comprimido en la industria se debe a que el mismo nos brinda soluciones sencillas ante de algunos problemas de la automatización, ya que no puede disponerse de otro medio más simple, económico y flexible como se puede señalar, además tiene las siguientes ventajas:

- Posibilidad de generar aire comprimido en cualquier lugar y en cantidades ilimitadas.
- El fácil transporte de la energía.
- El aire comprimido es incombustible y no es inflamable.
- La posibilidad de guardar el aire comprimido en reservorios, el cual puede ser eventualmente transportado si el depósito lo permite.

Pero este tipo de energía puede presentar inconvenientes que se detalla:

- La mayor de ellas es que no se recomienda sobrepasar los 30.000 N (3000Kp) de fuerza directa.
- El ruido, que provoca esta generación es un inconveniente mayor, en ciertas ocasiones.

2.1.1 *Conducción del aire comprimido.* La conducción del aire comprimido, se basa en sí en la creación y calidad del mismo para el requerimiento que va a brindar.

Por compresión se entiende al proceso por el cual se eleva la presión de un fluido gaseoso por una disminución de su volumen específico. La máquina que ejecuta este proceso es el compresor.

Los compresores son máquinas que aspiran aire ambiente, a presión atmosférica, y se comprime hasta lograr una presión superior. Normalmente en la industria se comprime hasta unos 12 bar (12 Kp/cm^2).

Los procesos de compresión son procedimientos de flujo. Los fluidos que se comprimen en un compresor pueden ser de diversa naturaleza: gas puro, mezcla de gases, vapor recalentado entre otros. Ahora bien, las características del aire comprimido que es utilizado por el compresor no difieren de las de un gas perfecto, ya que éstos últimos no solo dependen del tipo de fluido sino de las presiones aplicadas a él.

El aire definido como un gas perfecto se caracteriza por su:

- **Fluidez:** es la propiedad que no permite a sus partículas ofrecer resistencia al desplazamiento.
- **Compresibilidad:** Relación entre el cambio proporcional de volumen de una sustancia y la presión que se le ha aplicado a la misma.
- **Elasticidad:** permite que al comprimir en un recinto cerrado, ejerza una presión normal a las superficies de contacto.

Las leyes de los gases perfectos están relacionadas entre sí mediante tres magnitudes que son: la Presión (P), volumen (V) y temperatura (T). Pudiendo decir que el volumen es función de la temperatura y ésta de la presión llegando a escribir $f(P,V,T)=0$. [2]

Las leyes aplicadas a los gases perfectos son:

La ley de Boyle-Mariotte dice que a temperatura constante, la presión absoluta es inversamente proporcional al volumen, teniendo:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} (1)$$

La segunda ley que rigen es la **Ley de Gay Lussac:** A presión constante, el volumen ocupado por una masa dada es directamente proporcional a su temperatura.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

La tercera ley es la **Ley de Charles** que expresa; la presión absoluta de un volumen dado de gas dada, es directamente proporcional a las temperaturas absolutas:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (3)$$

La definición de gas perfecto es el cual sigue las leyes de Mariotte, Gay-Lussac y de Charles. Teniendo relacionada las tres leyes anteriores en:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_1} = R \quad (4)$$

Donde R es la constante de los gases siendo diferente para cada uno de ellos.

2.1.2 Nivel sonoro. Dentro de los factores de riesgos físicos que reconoce la Guía básica de información de seguridad y salud en el trabajo del IESS, se encuentra considerado el nivel sonoro, como un factor que puede incidir al operador y originar en enfermedades profesionales; como lo es la permanencia del trabajador a prolongados periodos de tiempo a niveles de presión sonora excesiva que puede dar lugar a repercusiones fisiológicas. [3]

El parámetro para tener una higiene del trabajo fija en 85 dB(A) el límite de protección para la salud.

El nivel sonoro que producen los compresores éstos sean estacionarios o portátiles, de pistón o rotativos a un metro de distancia el nivel sonoro de un compresor debe ser 75 dB (A).

La producción de ruido en los compresores son aportados por el aire aspirado y por las partes móviles de los mismos; pero no hay que dejar de considerar el ruido producido por los elementos neumáticos.

En los elementos neumáticos el ruido producido es por causa del escape del aire, el movimiento en si del elemento y el trabajo sobre la materia.

El sonido se define como la variación de presión en un medio (agua, aire, etc.), de modo que esta variación puede ser apreciada por el oído humano. El sonido más pequeño que puede captar el oído es $20\mu Pa$, que es una cantidad inmanejable es por ello que se adopta una nueva escala la cual es el Belio cuya unidad es el decibelio teniendo:

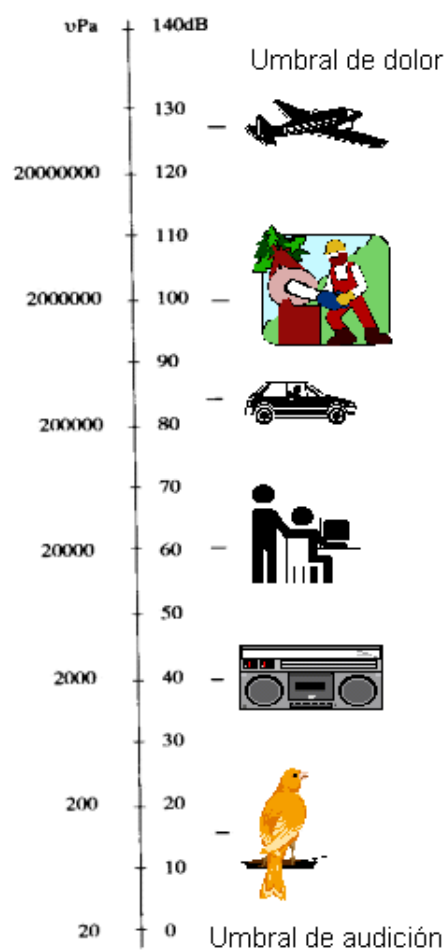
$$0 \text{ dB} = 20\mu Pa$$

En la escala de los decibelios se tiene A, B, C; de los cuales la A es la más usada ya que la misma se acerca a la curva de la sonoridad de los bajos.

Para medir el nivel sonoro en los compresores se usan las pruebas Cagi-Pneuroppara medir el sonido a 1 metro de distancia del mismo, este dato viene en datos decatálogos.

Para una sala donde existan dos compresores, el sonido provocado por ellos, no se suman directamente por su naturaleza logarítmica, se utilizará el siguiente gráfico:

Figura 3. Escala de Sonido



Fuente: CARNICER R. Enrique. Sistemas industriales accionados por aire comprimido

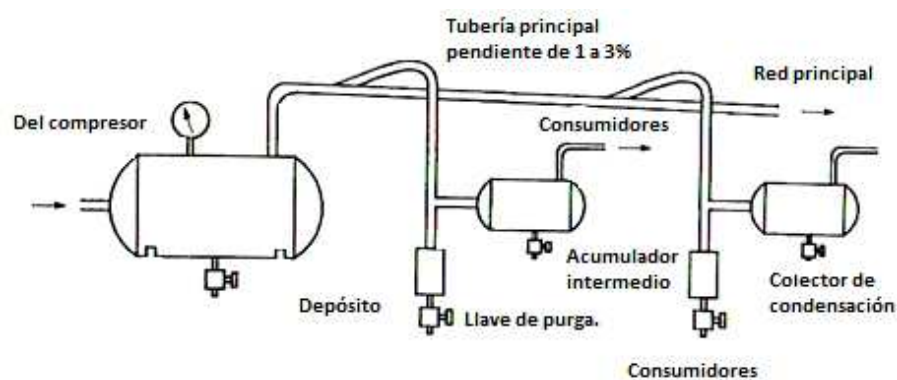
Los valores de sonido de cada compresor individualmente se restan los niveles, con esa diferencia se entra en la gráfico y en el eje vertical se observa en qué nivel se encuentra y se determina si está bajo o muy alto según el sitio en donde se desee ubicar.

Esta corrección se suma al que mayor ruido provoca, y se obtendrá el sonido real en el ambiente.

2.1.3 Depósito de aire.[2] En forma general se precisa como un elemento de almacenaje de aire a presión, situados cerca de los compresores.

A los depósitos y a los acumuladores intermedios se puede denominar de la misma forma ya que cumplen la misma función. Los depósitos son de mayor volumen que los acumuladores intermedios.

Figura 4. Depósitos, acumuladores intermedios y colectores



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), "Neumática".

Se recomienda instalar uno o más depósitos después del principal.

Entre las varias funciones del depósito de aire se encuentran:

- En caso de fallar el fluido eléctrico, o bien con el objeto de evitar los arranques frecuentes del motor del compresor.
- Acumular gran cantidad de aire a presión para mantener suministrando aire a los equipos.
- Disminuir la temperatura del aire comprimido y recoger los posibles contenidos residuales de condensación y de aceite.
- Permitir que los motores de los compresores no tengan que trabajar de manera continua, sino intermitente.
- Hacer frente a las demandas pico del caudal sin que se provoque caídas de presión en la red.

Los depósitos de aire comprimido son horizontales o verticales, se construyen siguiendo las normas ASME VIII. Para la construcción se lo realiza a partir de chapa

de acero, tiene dos fondos en forma de bóveda esférica, tal como se observa en la figura.

Figura 5. Depósitos de aire vertical y horizontal.



Fuente: BOGE, "depósitos de aire", 2011

Los depósitos que vienen contruidos de fábrica deberán tener un registro con las debidas especificaciones, y si es de construcción única se debe tener en cuenta la norma respectiva como se lo ha descrito anteriormente.

Por lo general son cilíndricos, y van provistos de diversos accesorios tales como:

- Un manómetro para indicar la presión interna
- Una válvula de seguridad que permita la evacuación total de aire con una sobre carga que no exceda el 10%.
- Llave de purga que sirve para evacuar los condensados, pueden ser manuales o automáticas.
- Presostato: para inducir el arranque y apagando cuando la presión interior suba o baje a un valor determinado.

Los acumuladores intermedios son instalados en la zona de los consumidores, para ayudar a compensar las fluctuaciones de presión y ala vez garantizar una reserva de aire. Como estos elementos están sometidos a presión se corre riesgos que a continuación se describen:

- Sobre presión por falla de los sistemas de seguridad.

- Fallas en el diseño del depósito (costura de soldadura, capacidad de deformación, resistencia al envejecimiento y corrosión).
- Por efecto de la corrosión, disminución del espesor.
- Fisuras debido a vibraciones por mal anclaje.
- Fatiga de materiales debido a trabajo crítico.

Existen diversas maneras de encontrar el volumen necesario para el depósito de aire entre las cuales tenemos:

a) Si se parte que en la salida la presión no puede variar más allá de 0,7 Bar, entonces para soportar esto el depósito de debe tener un volumen de 1,4 veces la capacidad del compresor.

b) El cálculo del volumen del depósito se puede realizar del siguiente modo:

$$V = K * Q \quad (5)$$

Siendo:

V = Volumen del depósito en m^3 .

K = Constante variable entre 0,2 y 0,4.

Q = Caudal del compresor en $\frac{m^3}{min}$.

Se debe tener que este es un cálculo orientativo y el resultado debe ser ajustado a los tamaños normalizados.

c) Pero también la capacidad del depósito puede estar determinada según el tipo de regulación, teniendo los valores orientativos siguientes:

Tabla 1. Capacidad de los depósitos

Tipo de Regulación	
Para válvula piloto	$V \geq 30P$
Automática con presostato.	$V \geq 35P$
Automática con presostato y contactor	$V \geq 40P$
Automática con arrancador y/ Δ	$V \geq 75P$

Fuente: Aire comprimido, Carnicer Royo. [1]

Dónde:

P = Potencia del compresor en CV.

V = Volumen en litros de todos los depósitos.

d) Cuando el consumo es constante se calcula por la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{14,7 C_o}{(P+14,7)} \quad (6)$$

V_p = Volumen del tanque.

P = Presión de trabajo en psi.

C_o = pies cúbicos / minuto (CFM).

e) Si el consumo se caracteriza por la alternancia irregular o regular de picos de consumo, bajo consumo o consumo nulo. El volumen del depósito V_{dep} , expresado en m^3 , se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{dep} = \frac{\Delta t_{cons}}{\Delta P} (\dot{V}_{cons} - \dot{V}_{ef}) \quad (7)$$

Δt_{cons} = Duración del pico de consumo en minutos.

ΔP = Caída de presión admisible en el depósito, expresada en bar.

\dot{V}_{cons} = Pico de consumo en $\frac{m^3}{min}$.

\dot{V}_{ef} = Cantidad efectiva en $\frac{m^3}{min}$.

Además tiene que comprobarse si las pausas entre los consumos de aire son suficientes para que el depósito vuelva a llenarse. El tiempo necesario se calcula:

$$\Delta t_{llenado} = \frac{V_{dep} \cdot \Delta P}{\dot{V}_{ef}} \quad (8)$$

Si el compresor no funciona de modo continuo, poniéndose en marcha únicamente si la presión en un depósito disminuye hasta un nivel de presión previamente definido, entonces debe tenerse en cuenta la cantidad de operaciones de conexión y desconexión del motor. Para evitar un desgaste prematuro, el motor en cuestión sólo debe ponerse en marcha entre 6 y 10 veces por hora.

Para calcular el volumen necesario del depósito (V_{Dep}) en m^3 , deberá aplicarse la siguiente fórmula:

$$V_{Dep} = \frac{15 \cdot \dot{V}_{ef} \cdot p_1}{Z_s \cdot \Delta p} \quad (9)$$

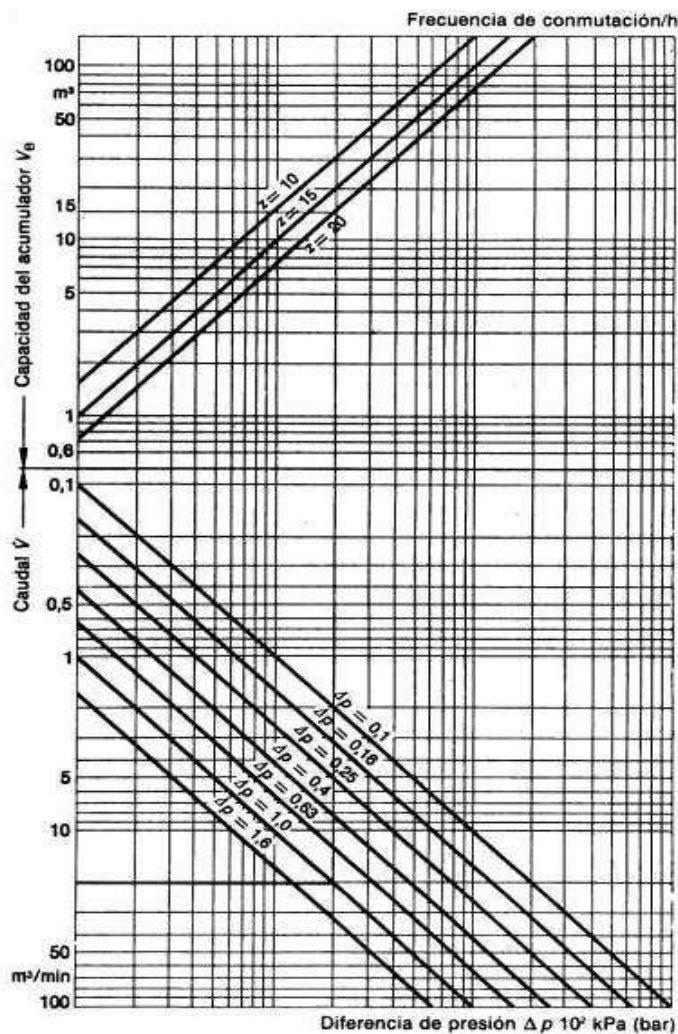
Dónde:

- P1 Presión del entorno en bar.
- Zs Frecuencia de conexión en h^{-1} .
- Ap Diferencia de la presión de conexión en bar.

Cuantas más operaciones de conexión y desconexión se admiten por unidad de tiempo, tanto menor puede ser el volumen del depósito.

También existe la selección de la capacidad del depósito del compresor mediante un gráfico que se presenta a continuación:

Figura 6. Volumen del acumulador de aire comprimido



Fuente: Sistemas de producción de aire comprimido, 2010 [5]

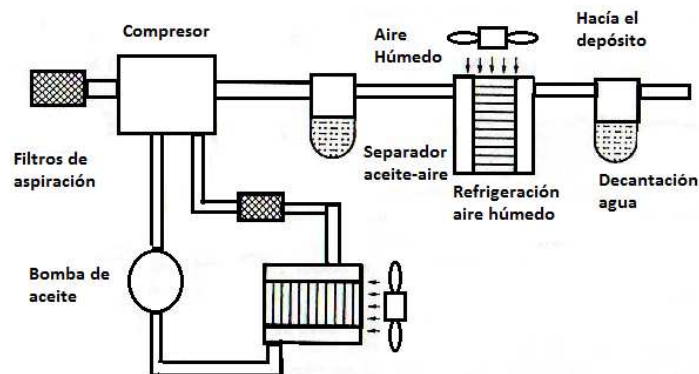
2.1.4 Sala de compresores. La sala de compresores es donde se reúne las fuentes generadoras de aire comprimido, para sus distintos usos dentro de la fábrica.

Una sala de compresores tiene:

- Compresor o compresores.
- Refrigerador posterior.
- Secador de aire (si es necesario).
- Válvulas automáticas de purga.
- Y otros elementos que puedan ser requeridos.

En la figura se muestra una representación de los elementos de los que se puede componer un equipo convencional de compresor.

Figura 7. Compresor y elementos auxiliares



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”.

2.1.4.1 Compresores. El elemento para la generación de aire comprimido se llama compresor, el cual toma aire atmosférico, aumenta su presión, y después de alimentar el depósito está listo para su posterior distribución.

Existen diversos tipos de compresores aunque los más utilizados son los de embolo. En los últimos tiempos los compresores de tornillo generan un aire de mejor calidad y se elimina los ruidos.

A esta gama de compresores se han unido los compresores rotativos de uña, que otorgan la ventaja de no emitir ningún vapor residual del aceite de lubricación.

Los compresores utilizan cuatro métodos para aumentar la presión en un gas, entre los cuales se describen:

- Atrapar cantidades consecutivas de aire en un tipo de cámara, reducir el volumen lo que provoca un aumento de presión, y luego se desaloja el aire.

- Atrapar cantidades consecutivas de aire en un tipo de cámara, trasladar sin cambio de volumen a la descarga y comprimirlo por contra flujo.
- Comprimir el gas mediante paletas que giran por medio de un impulsor, los cuales imparten velocidad y presión al gas.
- Alimentar el gas en un chorro de alta velocidad con el mismo o diferente gas, y convertir la alta velocidad de la mezcla a presión en un difusor.

Los compresores que usan los dos primeros métodos son intermitentes y se conoce como los de desplazamientos positivo. El compresor que usa el tercer método es un compresor dinámico, y el último se denominan eyectores.

2.1.4.2 Ubicación. El grado de pureza del aire comprimido puede ser decisivo para el correcto funcionamiento de los dispositivos neumáticos; ya sean estas: válvulas, cilindros, reguladores, etc.

Es por ello que la elección apropiada de la sala de compresores depende de factores como la longitud y tamaño de la instalación.

Se recomienda ubicar en la zona de la empresa más fría, con el objetivo de aspirar el aire a baja temperatura, seco y limpio, ya que si se aspira aire caliente y húmedo, se produce una mayor cantidad de condensado. También ayuda a los tanques de presión a disipar el calor producido por la compresión.

Una disminución de temperatura de 3 ° C aumenta la masa de aire aspirado en 1 por 100.

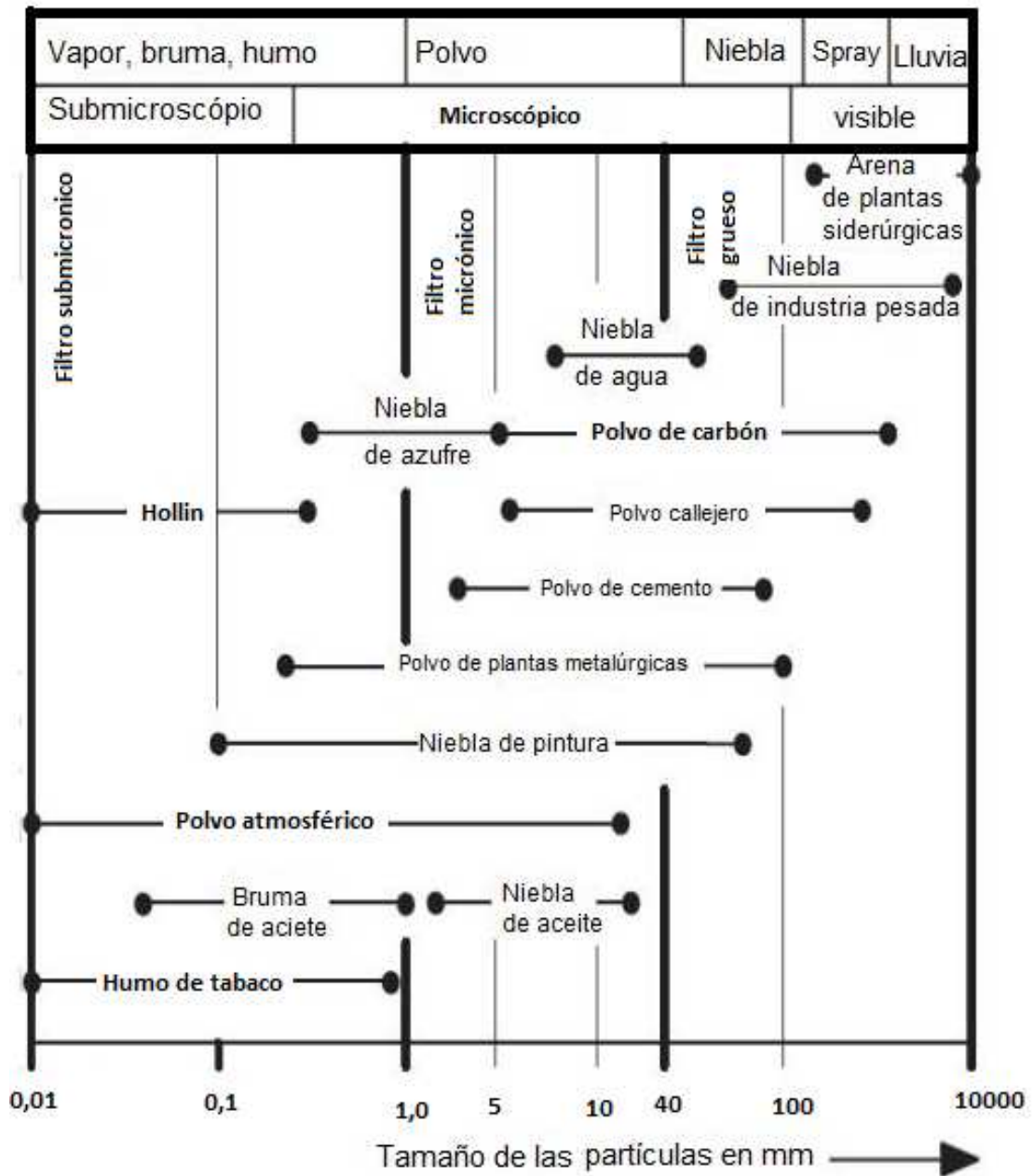
Como se ha dicho anteriormente, los compresores deben ser colocados en un local cerrado y exento de polvo y suciedad. En la sala de compresores se puede poner un ventilador para que ayude a tener una corriente de aire y poder obtener una temperatura de 30-38°C.

2.1.4.3 Aspiración. La aspiración conviene poner en un lugar que no se encuentre elementos contaminantes.

Al comprimir aire atmosférico, ingresan impurezas como lo podemos ver en la siguiente tabla que representa las impurezas encontradas en el aire atmosférico.

Pero no es el único problema, ya que si aspira este tipo de aire con polvo, se mezcla con el aceite y se crea partículas abrasivas que pueden dañar los elementos neumáticos.

Tabla 2. Impurezas encontradas en el aire



Fuente: Hesse Stefan, FESTO[1]

Es por ello que se tiene valores normalizados que se puede utilizar como máximo en cada unidad consumidora. En la siguiente tabla consta la calidad del aire comprimido en función de los tipos de impurezas basados en la norma DIN ISO 8573-1.

Cabe recalcar que tanto los compresores pequeños y medianos toman el aire en la sala de compresores; no obstante los grandes compresores deben tomar el aire por medio de un tubo de aspiración que siempre se debe encontrar por fuera del techo.

Tabla 3. Calidad del aire comprimido

Aplicaciones	Cuerpos Sólido (μm)	Punto de condensación del agua (0°C)	Contenido máx. de aceite (mg/m^3)	Clase de filtración recomendada
Minería	40	-	25	40 μm
Lavandería	40	+10	5	40 μm
Máquinas soldadoras	40	+10	25	40 μm
Máquinas herramientas	40	+3	25	40 μm
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40 μm
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	+3	25	40 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 de medición	1	+3	1	5 μm - 1 μm
Aire en almacén	1	-20	1	5 μm - 1 μm
Aire para aplicación de pintura	1	+3	0.1	5 μm - 1 μm
Técnica de detectores	1	-20 o bien -40	0.1	5 μm - 1 μm
Aire puro para respirar	0.01	-	-	-0.01 μm

Fuente: Hesse Stefan, FESTO [1]

Un punto importante dentro de la aspiración, son los filtros ya que estos permiten que no lleguen al compresor impurezas. El mal funcionamiento de los filtros hace que el rendimiento del compresor disminuya, es por ello que la elección correcta depende fundamentalmente en la calidad de aire entregada.

Para poder elegir el filtro correcto es necesario tener en cuenta la clasificación de los filtros:

- Filtro: Los filtros comunes son capaces de retener partículas de tamaños superiores a 40 μm o a 5 μm , según su grado de filtración y el tipo de cartucho filtrante.
- Microfiltro: Estos filtros retienen partículas de tamaños superiores a 0,1 μm

- Filtro submicrónico: Estos filtros pueden retener partículas de tamaños superiores a 0,01 μm . Sin embargo, antes de pasar por estos filtros, el aire tiene que haber pasado previamente por otro, capaz de retener partículas de hasta 5 μm .
- Filtros de carbón activo: Estos filtros son capaces de retener partículas a partir de 0,003 μm , lo que significa que pueden retener sustancias aromatizantes u odoríferas. Los filtros de carbón activo también se llaman filtros submicrónicos. [1]

Según sea el uso que se va a dar al aire comprimido; ya sea este para el sector alimenticio, farmacéutico o de pintura, se necesitan una mayor calidad de aire; es decir, que el aire llegue al componente neumático sin aceite.

El problema es que el aceite proviene del mismo compresor, y de los aerosoles oleosos encontrados en la atmósfera que al ser comprimidos pueden generar aceite residual y pueden dañar elementos de la red de distribución del aire.

Es por ello que se clasifica el aire según su contenido de aceite en tres categorías:

1. **Aire comprimido con poco contenido de aceite:** es el aire normal que pasa por un filtro y se obtiene partículas que están dentro de un rango 1 hasta 20 μm
2. **Aire comprimido técnicamente sin contenido de aceite:** se tiene un aceite residual de 0,03 $\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$, y es utilizado para aplicaciones técnicas.
3. **Aire comprimido absolutamente exento de aceite:** El contenido de aceite del aire comprimido es inferior a 0,003 $\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$, esto se logra ya que el aire aspirado por la unidad compresora ya se encuentra exento de cualquier tipo de aceite.

Ahora bien, se tiene una normalización del tipo de aire bajo la norma ISO 8573 y se puede observar en la siguiente tabla.

Al filtrar el aire comprimido también se obtiene agua que se acumula en calidad de condensado que hay que purgar regularmente.

Tabla 4. Calidad del aire

Clase de calidad	Suciedad Tamaño de Partículas	Presión del agua punto de rocío°C (ppm vol.) a 7 bar g	Aceite (incluido vapor) $\frac{mg}{m^3}$
1	0,1	70 (0,3)	0,01
2	1	-40(16)	0,1
3	5	-20 (128)	1
4	40	+3 (940)	5
5	-	+7 (1240)	25
6	-	+10 (1500)	-

Fuente: Hesse Stefan, FESTO

2.1.5 Deshumidificación del aire comprimido. El aire atmosférico contiene cierta cantidad de vapor de agua; pero esta cantidad depende de condiciones climáticas y el tipo de estación del lugar donde se encuentre.

La cantidad de agua que retiene el aire depende tanto de la presión como de la temperatura; admitiendo más vapor de agua cuando aumenta la temperatura. [6]

Tabla 5. Contenido de vapor de agua según la temperatura

Temperatura en °C	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90	100
Contenido máx. de vapor de agua en $\frac{g}{cm^3}$	0,9	2,2	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	30,1	82,3	196,2	472	588

Fuente: Hesse Stefan, FESTO

Esto se puede explicar ya que al comprimirse el aire este se calienta, ya que hay un aumento de energía para llevar de una presión y temperatura inferior a una mayor; describiendo en la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k+1)}{k}} \quad (10)$$

Dónde:

- T_1 y P_1 es la presión y temperatura en el punto 1
 - T_2 y P_2 es la presión y temperatura en el punto 2
- Cabe recalcar que el punto 2 es mayor que el 1.
- Pudiendo ser K desde 1,38 hasta 1,4.

Algunas de las propiedades se describen a continuación:

2.2.5.1 Humedad absoluta. Es la relación entre cantidad de vapor de agua (generalmente medida en kilogramos) por unidad de volumen de aire ambiente, en otras palabras:

$$h_{ab} = \frac{\text{Kg vapor de agua}}{\text{Kg aire seco}} = \frac{18 \text{ moles de vapor de agua}}{28,8 \text{ moles de aire seco}} = 0,625(11)$$

De modo que se tiene:

$$\frac{\text{presión parcial de vapor de agua}}{\text{presión parcial de aire seco}} = 0,625 \frac{P_a}{P_b} \quad (12)$$

Si se sabe que $P = P_a + P_b$, reemplazando:

$$h_{ab} = 0,625 \frac{P_a}{P - P_a} \quad (13)$$

Dónde:

h_{ab} = Humedad absoluta en kg de vapor de agua/kg de aire seco.

P_a = Presión parcial del vapor de agua.

P = Presión total del sistema.

P_b = Presión parcial de aire seco.

2.2.5.2 Humedad de saturación: Se define como la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener una cierta cantidad de aire. En un ambiente saturado se obtiene un equilibrio del vapor de agua y el agua líquida.

La humedad de saturación depende de la temperatura y presión y se expresa por:

$$h_s = 0,625 \frac{P_a}{P - P_a} \quad (14)$$

h_s = Humedad de saturación en kg de vapor de agua/kg de aire seco.

P_a = Presión de vapor de agua a la temperatura considerada.

P = Presión total del sistema.

2.2.5.3 Humedad relativa: Es la relación entre la humedad absoluta a la temperatura dada y la máxima humedad del aire a esa temperatura y se expresa en porcentaje así:

$$h_r = \frac{h_{ab}}{h_s} \times 100\% \quad (15)$$

Dónde:

H_r : Humedad relativa.

h_{ab} : Humedad absoluta.

H_s : aire saturado.

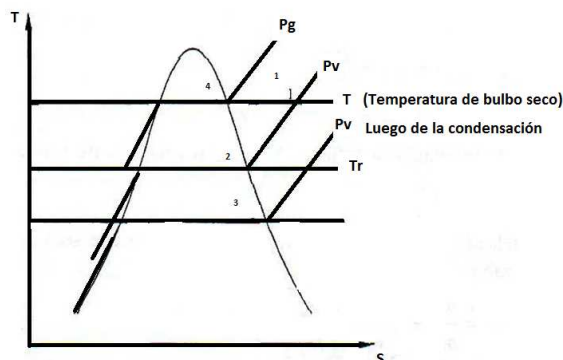
De esta simple ecuación se puede deducir que:

- Un valor de humedad relativa (h_r) 100% es un aire saturado, y
- Un valor de 0% es un aire seco; es decir el aire está totalmente libre de humedad.

Punto de rocío: El punto de rocío (punto de condensación), es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua. Es una temperatura t , a la cual el aire se satura (es la temperatura de saturación de la presión del vapor). Si la temperatura se mantiene por arriba del punto de rocío no existirá condensación. Esta saturación completa corresponde a una humedad de 100 por ciento.

Un menor punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, cuanta más alta es la temperatura, más vapor de agua es capaz de retener el aire y cuanta más alta es la presión, menos humedad contiene el aire.

Figura 8. Punto de rocío

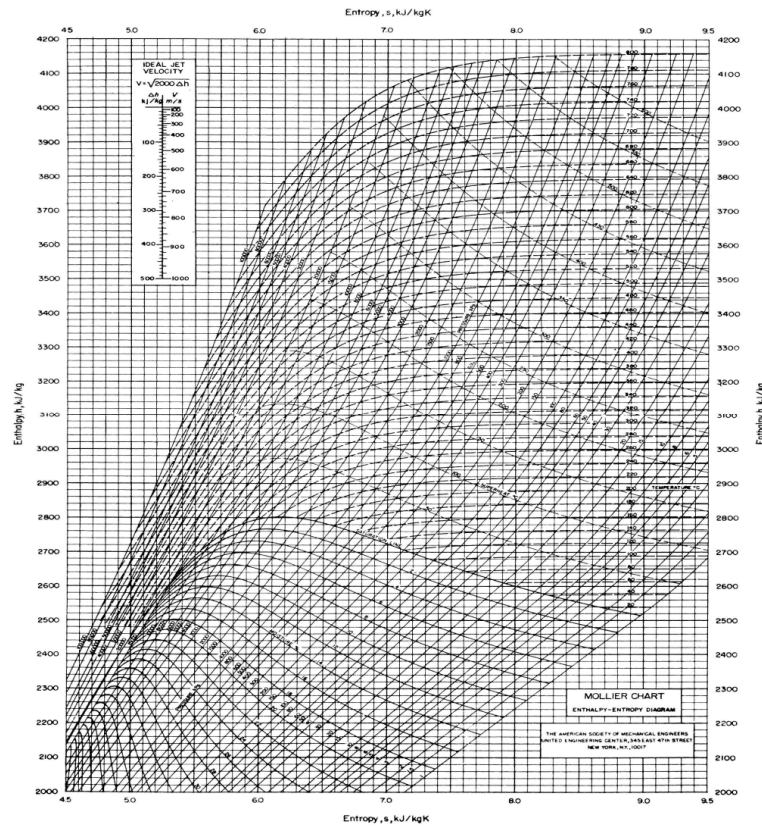


1 punto de estado del aire no saturado, 2 aire saturado, 3 punto luego del enfriamiento que ha producido condensación

Fuente: Zabala N. Gilberto, "Termodinámica". Segunda edición. [7]

Para determinar el punto de rocío, se debe recurrir al diagrama de Mollier en donde se puede ver la humedad del aire que tenemos.

Figura 9. Diagrama de Mollier



Fuente: Zabala Gilberto Termodinámica Segunda Edición

Una vez aclarados estos conceptos se entiende porque es necesario deshumidificar el aire antes de que éste llegue a los puntos de utilización, en algunos casos en los cuales el aire se mezcla con aceite y esta mezcla puede ocasionar:

- Corrosión en la tubería y elementos neumáticos.
- Errores en la medición de equipos de control.
- Obstrucción de boquillas.
- Bajo rendimientos en la instalación.

Existen varios tipos de métodos de deshumidificación del aire comprimido, dependiendo de la calidad de aire que se requiera.

Para obtener un aire sin un alto porcentaje de humedad hay que tener en cuenta tres puntos bien definidos dentro de la red.

1. Tratamiento del aire a la salida del compresor.
 - Refrigerador posterior de agua.
 - Refrigerador posterior de aire.
 - Secadores (frigorífico y pos adsorción).
2. Tratamiento del aire en las redes de distribución.
 - Secador pos pastillas desecantes delicuescentes.
 - Filtros separadores cerámicos.
 - Separadores centrífugos.
3. Tratamiento de aire en los puntos de utilización.
 - Filtros.
 - Reguladores de presión.
 - Lubricadores.

Se comienza en el análisis cada uno de los puntos.

2.2.5.4 Tratamiento del aire en los puntos de utilización. En el aire en la mayoría de casos quedan residuos de vapor de agua, siempre y cuando no se utilicen secadores, este vapor llega a los puntos de utilización y es conveniente eliminar el vapor de agua y las impurezas antes de que lleguen a los elementos neumáticos.

Los actuadores neumáticos que se utilizan deben estar lubricados para aumentar así su vida útil y tener un rendimiento óptimo; para este propósito se pondrá en los puntos de utilización:

- Filtros.
- Reguladores de presión.
- Lubricadores.

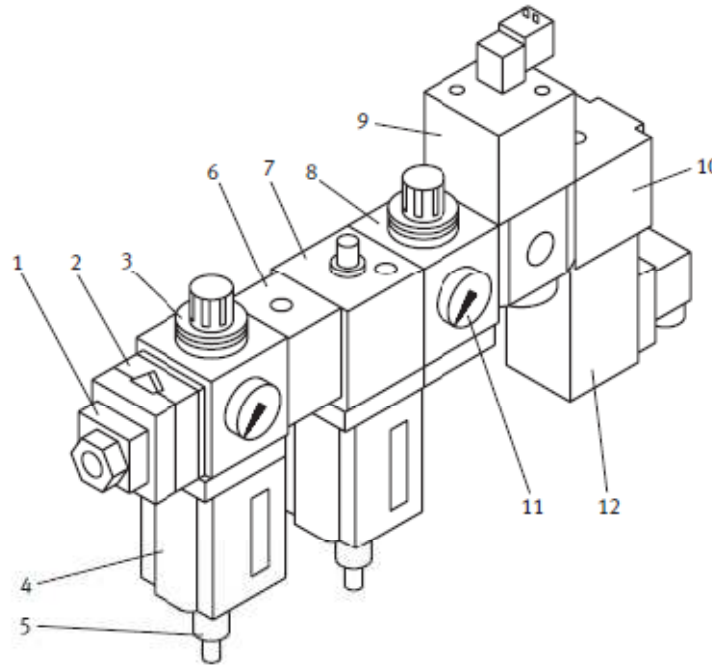
Grupo combinado.

El grupo combinado o más conocido como “unidad de mantenimiento” es un conjunto formado (en este orden) por válvula de cierre, filtro, regulador de presión y lubricadores; también puede incluir elementos de control.

Este elemento se lo coloca antes de los puntos de utilización, garantizando así un aire adecuado para cada función a cumplir por el actuador neumático. La unidad de

mantenimiento mantiene la presión constante, así fluctúe la presión del aire comprimido.

Figura 10. Unidad de mantenimiento



1Empalme para tubo, 2 Válvula de cierre manual, filtro válvula reguladora, 4 filtro, 5 purga de condensado, 6 bloque distribuidor, 7 lubricador, 8 Válvula reguladora de presión, 9 Válvula de arranque progresivo, 10 bloque distribuidor, 11 Manómetro, 12 Presostato

Fuente:Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”, byFesto AG y Co [1]

Para seleccionar este elemento es necesario saber la presión, caudal que entrega la red y calidad del aire necesario, así como para su funcionamiento también la dirección del flujo de aire. Pero se debe tener en cuenta algunos criterios:

- Las unidades de mantenimiento se debe colocar a una distancia de 5 metros de la última unidad consumidora.
- Deben colocarse en la zona de menor temperatura.
- Para evitar el uso no autorizado de la válvula de regulación, esta puede estar provista de cabezales con llave. [1]
- Únicamente deberán utilizarse los aceites minerales de poca viscosidad recomendados por el fabricante de los lubricadores de aire comprimido.

- A la unidad de mantenimiento se debe realizar periódicamente mantenimiento, ya que de no hacerlo se corre el riesgo de que no funcione correctamente.

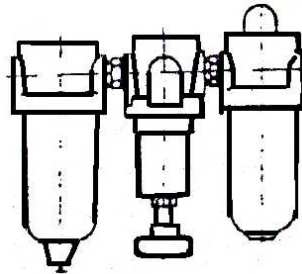
Combinaciones posibles de las unidades de mantenimiento.

Reconociendo que es un grupo combinado se pueden alternar sus elementos según sus necesidades, entre los cuales se puede describir:

- Filtro regulador lubricador.

Es la unidad de mantenimiento que normalmente se dispone.

Figura 11. Filtro-regulador-lubricador

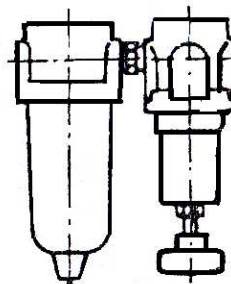


Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”. Ed. Paraninfo, Madrid

- Filtro regulador.

En ocasiones es necesario tener un aire exento de aceite, es por ello que se prescinde del lubricador. En algunas aplicaciones como cabina de pintura, aparatos de control, etc., la llegada de aceite podría dificultar el buen funcionamiento de los mismos.

Figura 12. Filtro-regulador

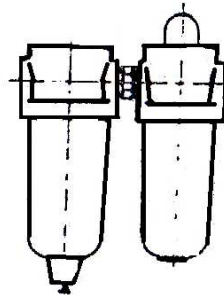


Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”. Ed. Paraninfo, Madrid [6]

- Filtro lubricador

Es cuando no se necesita la regulación de la presión.

Figura 13. Filtro-lubricador

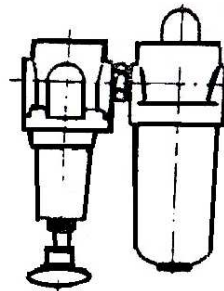


Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”. Ed. Paraninfo, Madrid.

- Regulador lubricador.

Es cuando se usa separadores o secadores ya que en esto el vapor de agua se elimina, pero eventualmente será necesario dejar un filtro para garantizar un aire limpio.

Figura 14. Regulador-lubricador



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”. Ed. Paraninfo, Madrid

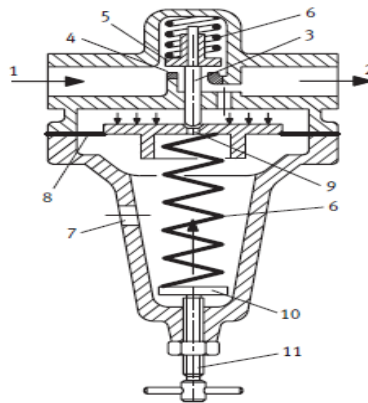
Ahora se podrá analizar los componentes involucrados en la unidad de mantenimiento

Reguladores de presión.

La función principal de estos elementos es la de mantener estables las condiciones de la presión y el caudal en el punto de utilización (presión secundaria P2), independientemente de las fluctuaciones que se produzcan en la red principal (presión primaria P1).

La característica del caudal demuestra que el regulador tiene una presión secundaria constante. De esto se tiene que mientras la diferencia entre P1 y P2 se agranda la característica del caudal es ventajosa.

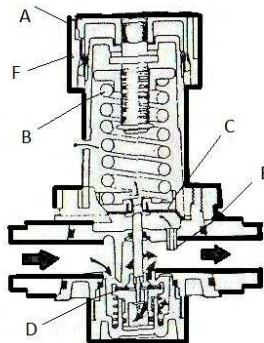
Figura 15. Regulador de Presión



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”

Funcionamiento:

Figura 16. Funcionamiento regulador de presión



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”

El regulador de presión tiene un muelle de ajuste para que se contraiga el muelle (B) hasta tener la presión deseada. Esta carga se transmite a través de un diafragma (C) hasta válvula (D), el cual se abre.

La parte inferior del diafragma está conectada a la salida a través de un tubo sifón (E). Al aumentar la presión regulada, la fuerza debajo del diafragma aumenta, obligando

al diafragma a comprimir el muelle de ajuste hasta que se alcanza el equilibrio, el excedente de aire sale por el orificio de escape.

Lubricadores.

Es necesario diferenciar entre el aceite que viene del compresor y el que dispone el lubricador. El aceite que viene del compresor es una unión entre aceite, vapor de agua y aire lo cual no se utiliza para la lubricación de los actuadores neumáticos.

Al utilizar un aceite que lubrique de forma correcta y en la cantidad necesaria, nos llevará a que los actuadores neumáticos sufran un desgaste prematuro, reducción del rozamiento y proteger los elementos contra la corrosión.

Los aceites que se emplean deben:

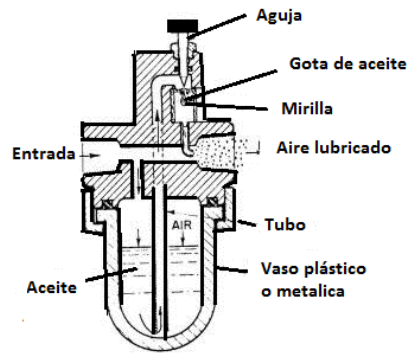
- Contener aditivos antioxidantes y antioxidantes.
- No perjudicar los materiales de las juntas
- Tener una viscosidad poco variable trabajando entre 20 y 50° C
- No pueden emplearse aceites vegetales (Forman espuma)

El transporte del aceite hasta los actuadores neumáticos lo hace a través del propio aire comprimido, solo se debe tener en cuenta la cantidad mezcla aire-aceite tiene que ingresar al actuador.

Funcionamiento

El aire comprimido entra en la dirección establecida tal como se muestra en la figura, atravesando un venturi, parte del aire llega al punto de salida y otra parte entra a la cámara donde está depositado el aceite y lo presuriza.

Figura 17. Lubricador



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”.

La presión diferencial hace que el aceite suba por medio de un tubo, llegando a una cámara de alimentación, el cual está regulado por una aguja la que controla la cantidad de aceite y se lo puede observar a través de la mirilla.

El aceite gotea a través del venturi donde es atomizado y se transforma en niebla y forma la mezcla aire-aceite que llegan a los puntos de utilización.

Cabe recalcar que para la selección de un lubricador es necesario tener en cuenta el caudal y la presión de trabajo, ya que si no se tiene una velocidad adecuada no alcanza para producir una depresión suficiente y aspirar el aceite del depósito.

La distancia máxima entre el lubricador y el punto de utilización es de 3 metros, una distancia mayor puede ocasionar que la niebla se precipite.

2.2.6 Purgadores. Los purgadores sirven para evacuar el condensado que se producen en la instalación de aire comprimido.

Estos elementos evacuan la mezcla aceite-agua, pero para la correcta selección del purgador se debe distinguir lo siguiente:

- Cuando la mezcla agua-aceite-impurezas sea pastosa.
- Cuando la mezcla agua-aceite-impurezas sea líquida.

Teniendo en cuenta estos parámetros se describen algunos purgadores.

Purgadores de boya.

Este tipo de purgadores se los utiliza cuando la mezcla está en estado líquido, ya que si no fuera así se corre el riesgo que la mezcla pastosa se pegue a la boya y no cumpla su función.

Puede cubrir la demanda del condensado de una red de aire comprimido.

Funcionamiento.

La boya en presencia de una cantidad de agua sube hasta una altura preestablecida, donde se abre una válvula que deja escapar el condensado. Cuando escapa el condensado la boya cae y cierra la válvula

Figura 18. Purgador de boya.

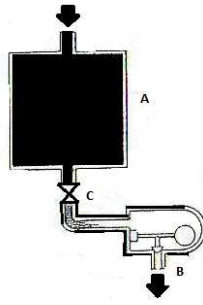


Fuente: CARNICER R. Enrique. Sistemas industriales accionados por aire comprimido

Para este tipo de purgadores es necesario tener un tubo de equilibrio; a causa de que ante la presencia de aire se cierran y se abren tan pronto como les llega agua, y no pueden incorporar ningún mecanismo antibloqueo de aire, como ocurre en los purgadores de vapor. [8]

Esto se puede explicar a través de la figura 2.35, si se levanta el purgador B y se desplaza el aire que en él se encuentra se tapa el orificio C; teniendo al purgador siempre cerrado.

Figura 19. Montaje sin tubo de equilibrio

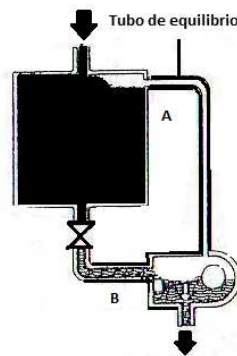


Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”

Esto se puede evitar instalando la tubería de equilibrio tal como se muestra.

Si la cantidad de agua es pequeña no se recomienda el uso de este tubo de equilibrio, pero en casos de duda es mejor su instalación.

Figura 20. Montaje con tubo de equilibrio



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”

Central de purga

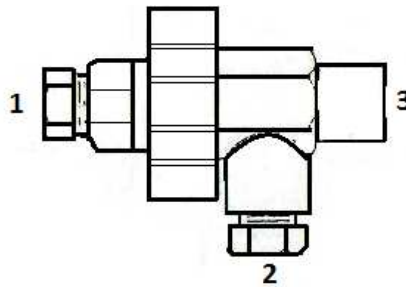
La central de purga tiene por objeto eliminar automáticamente los condensados formados en los equipos de la red de tratamiento de aire comprimido tales como: refrigeradores, depósitos, filtros, secadores frigoríficos, etc.

La central de purga funciona a través de un circuito electrónico con un microprocesador, que controla una electro-válvula pilotada que abre las purgas. La regulación permite determinar el intervalo entre purgas o la duración de las mismas.

Cabe notar que se pueden colocar de hasta 10 purgas neumáticas a la central unidas mediante tuberías y accesorios. El tiempo en que se regula la apertura para la salida del condensado es de 0 a 25 segundos.

El acople no es difícil tal y como se lo muestra:

Figura 21. Válvula de purga



La boquilla (1) se une mediante una tubería de plástico, nylon o cobre a la caja de mando, la boquilla (2) se une a la línea de salida de condensados y finalmente la parte (3) se une al punto bajo de los elementos a purgar.

Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”.

2.2.7 Red de aire comprimido. Para que el aire llegue a los puntos de utilización se necesita que el mismo, llegue a las unidades consumidoras en la cantidad y presión correcta para obtener la máxima eficiencia en cada uno de los elementos neumáticos, para ello se necesita trasladar el aire comprimido por medio de un sistema de tuberías y válvulas.

El sistema de distribución se configura de manera que a la entrada de aire en la unidad consumidora siempre se dispone de la presión mínima necesaria. En una red siempre se debe mantener la presión de trabajo en todo momento lo cual repercute económicamente a la instalación.

2.2.7.1 Dispositivos de una red. Una red de aire comprimido contiene los siguientes elementos:

Filtro de compresor: Es el que nos permite que el aire ingrese a la unidad compresora libre de impurezas.

Compresor: Es el encargado de convertir la energía mecánica en energía neumática comprimiendo el aire

Postenfriador: Es un intercambiador de calor en el cual pierde calor el aire comprimido y gana un elemento refrigerante (agua o aire).

Tanque de almacenamiento: Tienen como función principal el almacenar el aire comprimido y absorber las pulsaciones de aire que vienen del compresor y también permite el asentamiento de partículas y la humedad.

Filtros de línea: Se encargan de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el uso que se le va a dar al aire comprimido.

Equipos adicionales: Elementos de purga, unidades de mantenimiento, elementos de control y secadores adicionales.

2.2.7.2 Tubería. Las tuberías sirven para transportar el aire desde el o los compresores hasta los puntos de utilización, mediante una red de conducciones.

Como es de conocimiento las caídas de presión son indeseables, y para disminuir las pérdidas se debe tener en cuenta ciertos factores en el diseño de la tubería como son:

- Mínimas longitudes de transporte.
- Diámetros suficientes de paso.
- Tubos con superficies interiores lisas.
- Reducción de estrangulaciones de tuberías y cambios bruscos de dirección del flujo.

2.2.7.2.1 Tubería principal. Es la línea que sale del depósito y conduce la totalidad del caudal del aire para tener la mayor sección posible, y un margen de seguridad en previsión a futuras ampliaciones de la planta.

La velocidad máxima del aire es de 8 m/ s.

2.2.7.2.2 Tubería secundaria. Son las que toman el aire de la tubería principal, y se ramifican de las tuberías de servicio. La velocidad máxima del aire es de 8 m/ s.

2.2.7.2.3 Tubería de servicio. Las tuberías de servicio son las que alimentan a los actuadores neumáticos.

En este tipo de tubería es necesario que los diámetros sean mayores de ½”, por qué puede salir a una velocidad excesiva y la función de los separadores que están conectados a continuación de este tipo de tubería no cumpliría su función.

La velocidad apropiada en la tubería de servicio es de 15 m/s.

2.2.7.2.4 *Materiales de tuberías.* En el mercado actualmente existen una gran gama de tubos para usos neumáticos, que van desde los rígidos como: acero, cobre y latón, a los flexibles, como los de caucho con refuerzo de fibras diversas, los de poliamida, poliuretano y teflón.

Para tener un criterio en la elección del material de los tubos es necesario tener en cuenta:

- Calidad del aire comprimido (tuberías resistentes a la corrosión, empalmes que no provoquen la acumulación de depósitos).
- Dimensiones de los tubos.
- Presión y fugas mínimas.
- Costos del material.
- Coeficiente de dilatación térmica del material
- Trabajo de montaje (tendido sencillo de los tubos y montaje de los empalmes, utilización de herramientas y materiales especiales, necesidad de disponer de conocimientos especiales)

En general se utiliza los tubos rígidos para instalaciones fijas como la red de distribución. Las mangueras de caucho con refuerzo de fibras se utilizan en equipos móviles y herramientas portátiles de diversos tipos.

Hay también que tener en cuenta que cada material tiene su coeficiente de rugosidad que genera pérdidas de presión. A continuación se muestra la rugosidad de los tubos de diverso material.

Tabla 6. Rugosidad en tubos

Material	Rugosidad en μm
Tubo de cobre	Menos de 1.5
Tubo de material sintético	Menos de 1.5
Tubo de acero estirado	10 hasta 50
Tubo de acero soldado	50 hasta 100
Tubo de hierro cincado	120 hasta 150

Fuente: Serrano Nicolás, Neumática. [2]

A continuación se describirá cada uno de los materiales.

Tubos de acero.

Los tubos de acero pueden soportar presiones superiores a las que se utiliza en neumática (por lo general no supera los 8 bar) tal y como se ve en la tabla 2.8.

Tabla 7. Tubos de acero

TUBOS DE ACERO			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Presión de rotura bar
4	3	125	500
5	3	350	1400
6	4	300	1200
7	5	275	1100
8	6	250	1000
9	7	200	800
10	8	175	700
12	10	150	600
13	11	125	500
14	12	110	450
15	13	100	400
16	14	90	360
18	16	85	340
20	18	80	320

Fuente:Serrano Nicolás, Neumática.

La unión se lo hace mediante racores universales con anillo mordiente. El acero debe ser la más dúctil posible para que el anillo genere estanqueidad.

Tubos de cobre.

Al igual que los tubos de acero éstos soportan presiones mayores que las utilizadas en neumática. El montaje se lo realiza mediante racores universales, pero en estos elementos es más fácil la estanqueidad, ya que el cobre es más dúctil que el acero.

Esta ductilidad facilita los montajes ya que pueden ser curvados manualmente con ligeros esfuerzos y sin deformaciones importantes.

El costo es elevado de este tipo de tubo, así como el de su instalación.

Tabla 8. Tubos de cobre

TUBOS DE COBRE			
Diámetro exterior	Diámetro interior	Presión de trabajo	Presión de rotura

mm	mm	bar	bar
4	2	440	2200
5	3	280	1400
6	4	220	1100
8	6	145	730
10	8	110	550
12	10	85	440
14	12	73	360
15	13	66	330
16	14	62	310
18	16	55	270
°20	18	45	240

Fuente:Serrano Nicolás, Neumática.

Manguera de caucho neopreno

Estas poseen un forro interno liso de neopreno de color negro, un refuerzo interior trenzado helicoidal de fibra textil y una cubierta exterior de caucho también neopreno de color negro.

Pueden unirse mediante racores especiales para estas mangueras o mediante abrazaderas. Este tipo de tubería se utiliza en herramientas portátiles, compresores transportables, aparatos para inflado de neumáticos, etc.

El gran auge experimentado por las uniones por racores rápidos, ha dado el surgimiento al uso de materiales como los de poliamida (nilón), de poliuretano, y en menor uso los de tubo de teflón que a continuación se comenzará a detallarlos.

Tabla 9. Manguera de caucho neopreno

MANGUERA DE CAUCHO NEOPRENO			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Presión de rotura bar
11	5	13	40
12	6	13	40
15	8	13	40
17	10	13	40
21	13	13	40
24	16	13	40
28.5	19	13	40
37	25	13	40

Fuente:Serrano Nicolás, Neumática.

Tubos de poliamida.

Este tipo de tubo se puede unir mediante racores rápidos o racores universales. Las principales características de este tipo de tubo son:

- Peso reducido.

- Temperatura de trabajo que oscila -20°C a 70°C.
- Elevada resistencia mecánica.
- Resistencia a humedad y ambientes salinos.
- Absorbe vibraciones.
- Resistente a la abrasión.
- Coeficiente de rugosidad bajo.

Estos se pueden apreciar el radio mínimo de curvatura que posee. Comercialmente bien en colores: blanco, negro, verde, rojo, azul y amarillo. Este tubo se comercializa en forma de espiral, sobre todo en pequeños diámetros.

Tabla 10. Tubo de poliamida

TUBOS DE POLIAMIDA (Nilón)			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Radio mínimo curvatura mm
4	2	50	25
5	3.3	40	25
6	4	34	35
8	6	24	55
10	7.5	25	75
12	10	15	90
14	12	10	100
16	13	10	120

Fuente: Serrano Nicolás, Neumática.

Tubos de poliuretano.

El rango de temperatura que se tiene en este tipo de tubo es igual al de nilón; que va desde -20°C a 70°C se monta con racores universales o universales.

Resiste a la abrasión y a distintos productos químicos. Como se observa en la tabla soporta menores presiones.

Tabla 11. Manguera de caucho neopreno

TUBOS DE POLIURETANO			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Radio mínimo curvatura mm
4	2.5	10	10
5	3	11	15
6	4	9	15
8	5.5	8	20
10	7	8	25
12	8	9	35

16	11	10	85
----	----	----	----

Fuente: Serrano Nicolás, Neumática.

Tubos de teflón

La utilización principal de estos tubos es en donde se necesite soportar altas temperaturas, ya que pueden llegar a soportar 140°C y la temperatura mínima es de -40°C.

Pueden montarse con racores universales o instantáneos. La tabla presentada es a temperatura normal de 20°C, al aumentar esta temperatura la presión deservicio disminuye.

Tabla 12. Manguera de teflón

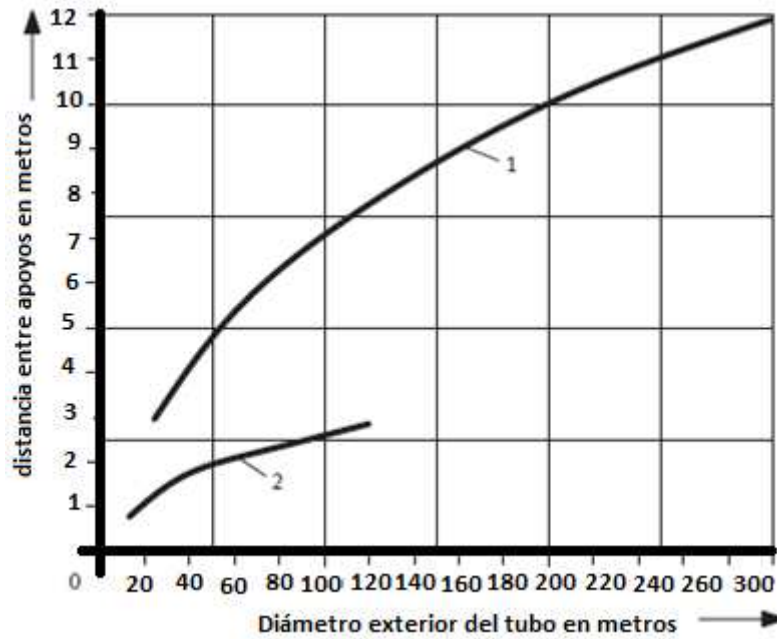
TUBOS DE POLIURETANO			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Radio mínimo curvatura mm
4	2.5	22	20
6	4	20	30
8	6	15	50
10	8	12	60
12	10	10	110

Fuente: Serrano Nicolás, Neumática.

Distancia entre apoyos

Para la distancia entre apoyos, se debe tener en cuenta el tipo de material de la tubería que se va a utilizar. Una referencia que podemos encontrar en el siguiente gráfico:

Figura 22. Distancia máxima entre apoyos en redes de distribución de aire comprimido



1.- Tubo de acero normal. 2.- Tubo de material sintético.

Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”.

2.2.7.3 Válvulas y accesorios. Los accesorios se utilizan para regular y controlar el flujo, y se montan en la tubería los cuales se montan en la parte superior para evitar el condensado. La unidad de purga de condensado se debe poner en la parte inferior de las tuberías para recoger el condensado.

Codos.

Sirven para cambiar de dirección el flujo de la línea, a tantos grados como se necesite.

Tipos:

Codos 45°.

Codos 90°.

Codos 180°.

Tee.

Son accesorios que se utilizan para unir diferentes líneas y son construidas de diferentes materiales y cédulas. Pueden venir roscadas o soldables.

Tipos:

Diámetros iguales.

Dos diámetros iguales y uno desigual.

Uniones.

Son accesorios utilizados para unir dos tuberías a través de sus extremos. Su función es proporcionar uniones perfectas, pueden ir soldados o roscados.

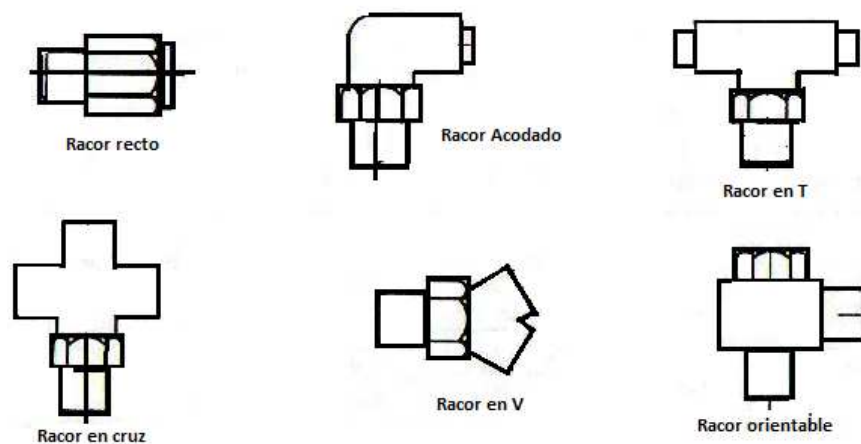
Tapones

Son utilizados para impedir el paso del fluido, los mismos pueden ser macho o hembras. Se los utiliza regularmente en diámetros menores.

Racores.

En el mercado existen diferentes tipos de racores, así como de materiales de los que están constituidos. Es por esta razón que se presenta los racores más representativos.

Figura 23. Racores representativos. [2]



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”.

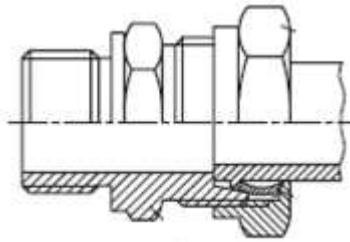
Los materiales más usados son de acero, acero inoxidable, latón y diferentes materiales plásticos. Las roscas usadas son GAS de paso fino y también las métricas. En las conexiones de las tuberías a los distintos componentes, se emplean también accesorios de muy diversos tipos como se muestran.

Racores universales

Este tipo de racores utilizan un anillo metálico que, al apretar la tuerca del racor, comprime radialmente al tubo y se produce la estanqueidad. Es por ello que es la manera más usual para unir tubos metálicos.

Para los tubos metálicos se debe tener en cuenta que éstos deben ser dúctiles y el anillo metálico, en cambio para tubería es de cobre o nilón se necesitan anillos de latón.

Figura 24. Racor Universal [2]



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”.

Racores instantáneos

Este tipo de racor es el más difundido, debido a que el montaje es rápido, sencillo y no se necesita ningún tipo de herramienta para conectarlo al tubo.

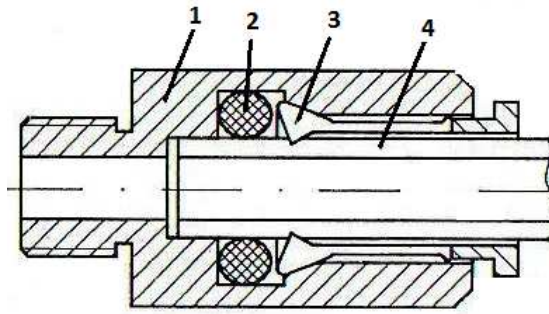
Se presentan dos tipos de racores instantáneos.

El primer racor instantáneo consta de una junta tórica de caucho (O-ring) la cual produce la estanqueidad. Este tipo de elemento consta de un cuerpo principal (1) que se rosca al componente neumático, un O-ring (2) y una pinza extensible.

El montaje es sencillo basta con introducir el tubo (4); hasta el tope y tirar de él manualmente. Para retirarlo basta empujar la pinza.

Este tipo de racor se los utiliza en tubería de poliamida y poliuretano, teniendo una sección de tubo integra lo cual no produce pérdidas de carga en los racores rectos.

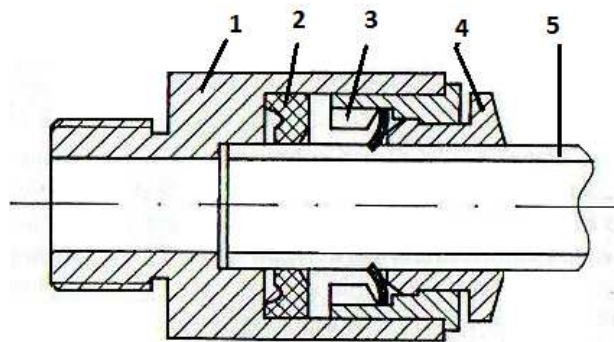
Figura 25. Racor instantáneo



Fuente: SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”.

El siguiente racor tiene un uso similar que el anterior en cuanto al montaje y desmontaje, pero de concepción diferente. Está provisto de una junta de estanqueidad o collarín, garras de sujeción (3) y por un anillo de desconexión (4). Tanto el montaje como el desmontaje es igual que al anterior racor explicado.

Figura 26. Racor instantáneo



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”.

2.2.7.4 Tipos de red de aire comprimido. Para describir la forma adecuada de disposición de la red de aire comprimido se debe describir las formas existentes que son de tres tipos:

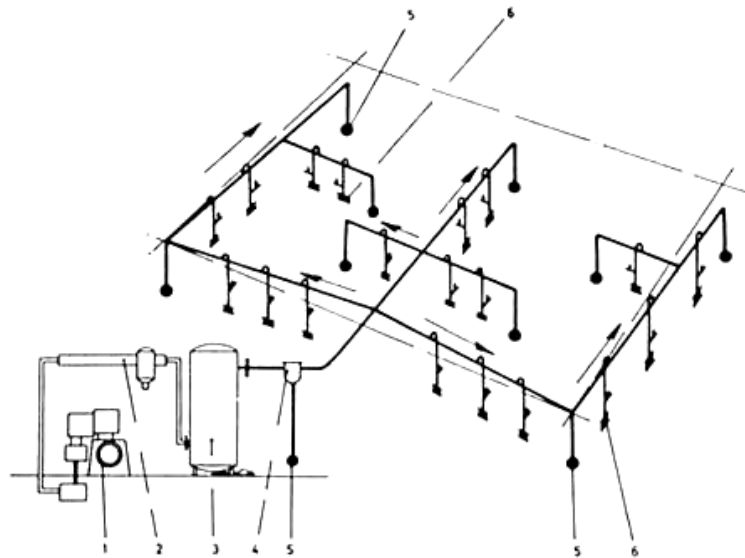
- Ramificada o abierta.
- Mallada o cerrada.
- Mixta.

Cabe recalcar que la velocidad del aire dentro de la tubería principal y secundaria están comprendidas entre 3 a 10 m/s, por esto las pérdidas son realmente bajas con respecto a otros fluidos. Ahora se analizará los tipos de redes existentes:

Red ramificada o abierta:

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal y como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Red abierta



1. Compresor.
2. Refrigerador posterior.
3. Calderín con purga automática.
4. Separador.
5. Purgas en finales del ramal con válvula automática o manual.
6. Tubería de servicio con purga manual y enchufes
7. Pendiente de dirección del flujo de aire, al objeto de llevar agua a los puntos de drenaje

Fuente: CARNICER, E., (1990), "Aire Comprimido".

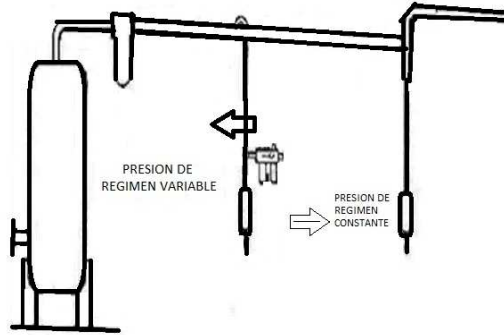
La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. en este tipo de red es conocido el sentido de aire.

Además, en la red pueden implementarse inclinaciones que van desde el 2 al 3% para la evacuación de condensados. Al final se debe poner una válvula de purga. [9]

Desventajas:

La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Al entrar en reparación una tubería de distribución, eventualmente se podría parar la producción, por la simple razón de que no llegará el aire a los puntos de utilización

Figura 28. Inclinación de tuberías

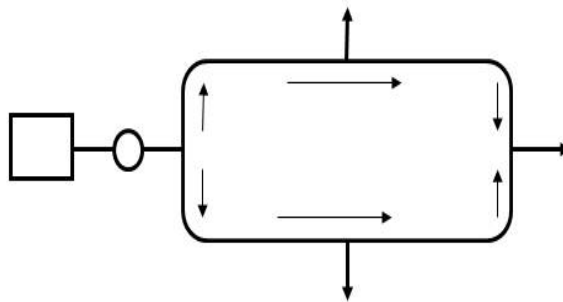


Fuente: Sistema Producción Transporte Aire Comprimido

Red mallada o cerrada:

En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la Figura 29.

Figura 29. Red cerrada



Fuente: Autor

La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción.

Desventajas de la red cerrada.

- a) En esta clase de circuitos no se tiene asegurado el sentido del aire comprimido, es por ello que no se podrá utilizar los separadores centrífugos, cerámicos o filtros. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo.

Los elementos antes mencionado tienen dos orificios uno de entrada y uno de salida obligatoria del aire. Y queda inservible su funcionamiento debido a esto.

- b) Este tipo de red existe la dificultad de eliminar el condensado ya que no tiene inclinación la tubería. Otra razón es por lo expuesto anteriormente ya que no tiene el aire dirección fija y a los purgadores ya sean manuales o automáticos dejan inservibles. [10]

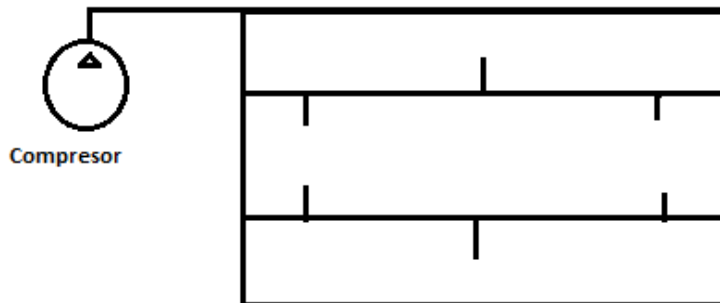
Esto no lleva a que el aire que entra a este tipo de red debe ser estrictamente secado por los medios anteriormente mencionados.

- c) En esta red no se equilibran las presiones

Red mixta:

Esta configuración es igual a la cerrada pero con la implementación de un by-pass entre las líneas principales tal y como se muestra en la figura 2.28.

Figura 30. Red mixta.



Fuente: Autor

En cuanto a la inversión que se necesitaría es necesario que ésta sea alta al ser similar al circuito tiene los mismos problemas antes vistos

2.3 Dimensionamiento de una red.

2.3.1 Parámetros Una vez generado y tratado el aire comprimido, el mismo debe llegar a los puntos de utilización con la cantidad correcta y la presión adecuada.

Para este propósito se debe partir de la unidad generadora (compresor) pasar por una red de tuberías y acometidas que conforman la red de distribución de aire comprimido.

Es conveniente que en la llegada del aire a la unidad consumidora se provea de la presión mínima de utilización del elemento neumático, sin importar de la distancia que se tenga entre este y la unidad generadora.

Partiendo de esto se debe tener en cuenta que se necesitarán algunos parámetros para el dimensionamiento correcto de la red de distribución como son:

- Presión de trabajo.
- Caída mínima de presión.
- Pérdidas por fuga mínima.
- Caudal
- Velocidad de circulación.

2.3.2.1. *Presión de trabajo.* Es la presión a la cual se obtiene el mayor rendimiento de los equipos y herramientas neumáticas y que viene especificada en cada uno de éstas.

La presión en equipos neumáticos están en un rango que va desde los 6 a 7 bar.

2.3.2.2. *Caída mínima de presión.* Se admite una presión de caída entre la unidad generadora (compresor) y el punto de utilización del 3% de la presión efectiva del compresor.

2.3.2.3. *Pérdida por fuga mínima.* Las fugas de aire no siempre son fáciles de detectar, ya que el aire es invisible e inodoro. Para tener un gasto normal de mantenimiento de estas el valor debe estar entre un 5 a 10%.

En algunos lugares donde se utiliza el aire comprimido en máquinas con escapes innatos se debe considerar el 10 al 15%. Cabe recalcar que las fugas producen pérdida de dinero que se lo verá más adelante en el análisis económico.

Por fuga se entiende la pérdida de aire comprimido en zonas no estancas. En esos puntos, el aire comprimido se escapa a gran velocidad. A lo largo de un año, las pérdidas de aire pueden ser considerables. Si las fugas son grandes, el aire comprimido resulta ser un fluido bastante costoso. Además, las fugas que al principio son pequeñas, aumentan rápidamente.

En la tabla 2.13 se identifica la pérdida de aire según el diámetro del orificio así como la potencia necesaria para compensar este tipo de fuga.

Tabla 13. Fugas de aire en orificios de tubería

Diámetro del orificio [mm]	Fuga de aire a 6 bar	Potencia necesaria para su compensación [Kw]
1	1	0,3
3	10	3,1
5	20	8,3
10	105	33

Fuente: Carnicer Royo, Aire comprimido [6]

Un método para cuantificar las fugas se mide en qué tiempo disminuye la presión en una cantidad determinada (por ejemplo, 1 bar). Al efectuar la medición es necesario que todas las unidades consumidoras estén desconectadas y, por supuesto, no se debe alimentar aire comprimido al depósito. Para determinar la cantidad de aire que se pierde por la fuga, se aplica la fórmula siguiente:

$$V_L = \frac{V_B(P_a - P_e)}{t} \quad (16)$$

Dónde:

VL: Cantidad de aire perdido por la fuga, expresada en l/min.

VB: Capacidad del depósito de aire comprimido en litros (l)

Pa: Presión inicial en el depósito en bar

Pe: Presión final en el depósito en bar

t: Duración de la operación de medición en min.

2.3.2.4. *Caudal.* El caudal necesario para la instalación se toma en consideración a la funcionalidad de la máquina envasadora de líquidos que solo funciona con tres de los cilindros neumáticos de doble efectos y de los cuales se describirá más adelante.

2.3.2.5. *Velocidad de circulación.* Existen límites en la velocidad de circulación ya que hay que tener en cuenta que a mayor velocidad existen mayores pérdidas.

En la tabla 14 se describe las velocidades recomendadas para cada tipo de tubería.

Tabla 14. Velocidades máximas recomendadas.

Sector de tubería	Velocidad máximas [m/s]
Principal	8
Secundaria	10
Servicio	15
Interconexión	20

Fuente: Serrano Nicolás, Neumática

2.3.2 Consumo específico. Se llama consumo específico al aire necesario para el servicio continuo a la presión de trabajo dado por el fabricante; su unidad es en aire libre que viene expresado en $\frac{\text{litros}}{\text{min}}$ ó $\frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}$.

2.3.3 Coeficiente de utilización. A parte del consumo específico del aparato, se encuentra el tiempo en el que el componente neumático está parado por la índole de su trabajo.

Este margen de operación intermitente, o factor de servicio, se denomina coeficiente de utilización y varía conforme la prestación de cada herramienta, máquina o accionamiento.[6]

Se presentan algunos coeficientes de utilización.

Tabla 15. Coeficiente de utilización.

Atornilladores	25 %
Amoladoras	40 %
Remachadores	50 %
Taladros	25 %
Lijadoras	50 %
Roscadoras	30 %
Pistoleta de limpieza	10 %
Máquinas de soldar	70 %

Fuente: Carnicer Royo, Aire comprimido [6]

2.3.4 Coeficiente de simultaneidad. Cuando hay en funcionamiento diversas herramientas o todos los equipos que se dispone en la planta, el promedio de los coeficientes de utilización es el coeficiente de simultaneidad.

Existen cifras de referencia con respecto al coeficiente de utilización que son:

Tabla 16. Coeficiente de simultaneidad

Fundiciones	55 a 60 %
Talleres mecánicos	40 a 45 %
Talleres de servicio	35 a 40 %
Astilleros	50 a 60 %
Construcciones metálicas	45 a 50 %
Construcciones varias	20 a 25 %

Fuente: Carnicer Royo, Aire comprimido [6]

2.3.5 Pérdida de presión.

2.3.5.1 Pérdida de presión en accesorios. Es evidente que para levantar una red de distribución es necesario que en ella se incluya accesorios, que producen una pérdida de presión la cual hay que cuidar cuando estos elementos se presentan en un número considerable.

Para efecto de cálculo se debe que hacer un resultado aceptable; es por lo cual se transforma una longitud equivalente de tubería que compense la caída de presión por los elementos (accesorios), esta longitud a su vez se suma a la longitud real de la tubería.

Tabla 17. Pérdida de presión de los accesorios expresada en metros de tubería recta

Accesorios para tubería	Longitud equivalente en metros						
	Diámetro interior						
	1"	1 ½"	2"	3"	4"	5"	6"
Válvula de diafragma	1.5	2	3	4.5	6	8	10
Válvula de compuerta	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5
Codo de 90°	0.3	0.5	0.6	1	1.5	2	2.5
Codo 45 °	0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1	1.5
Codos redondos	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Codos con enlace	1	2	2.5	4	6	7.5	10
Tés	2	3	4	7	10	15	20
Manguitos de reducción	0.5	0.7	1	2	2.5	3.5	4

Fuente: Carnicer Royo, Aire comprimido [6]

Es por ello que para tener la pérdida de presión real entre dos puntos, es necesario conocer la caída de presión de todos los accesorios y la longitud real de la tubería (recta). Es así que se necesita tener la menor cantidad de accesorios para no obtener un valor de pérdida indeseable en la red.

2.3.5.2 Pérdidas de presión en mangueras. La mala selección de las mangueras puede ocasionar pérdidas grandes, que pueden dañar el sistema.

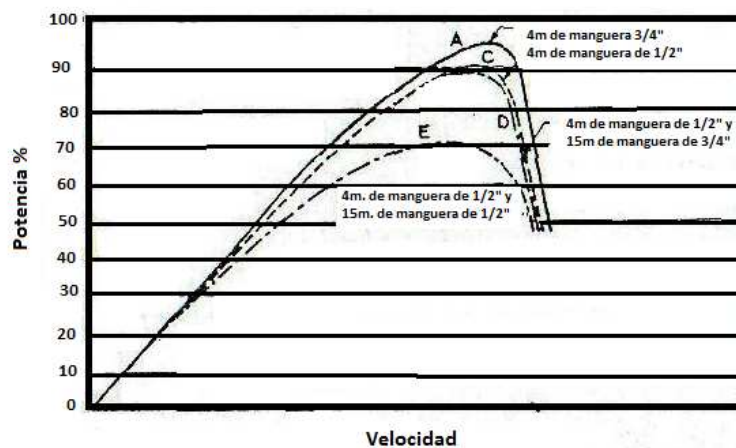
Mangueras de diámetro pequeño en tramos largos producen caídas de presión altas, o que éstas se encuentren parchadas y su superficie sea extremadamente rugosa. Es por ello que para la selección se utilizará el consumo de aire en el equipo, y la herramienta a plena carga y a la potencia máxima.

Estos elementos oponen una resistencia al paso del fluido, que dependen de la longitud del recorrido y de la velocidad del aire.

La variación de estos parámetros funcionales de las mangueras se puede describir en los siguientes gráficos.

En el primer gráfico se expresa el efecto de utilizar mangueras inadecuadas en la reducción de presión de aire en la herramienta.

Figura 31. Potencia en función de la velocidad. [6]



Fuente: CARNICER. E 1990 "Aire Comprimido"

Como se puede observar en la figura una longitud de tubería de 4m. y un diámetro de 3/4" produce la menor de las pérdidas de potencia (curva A).

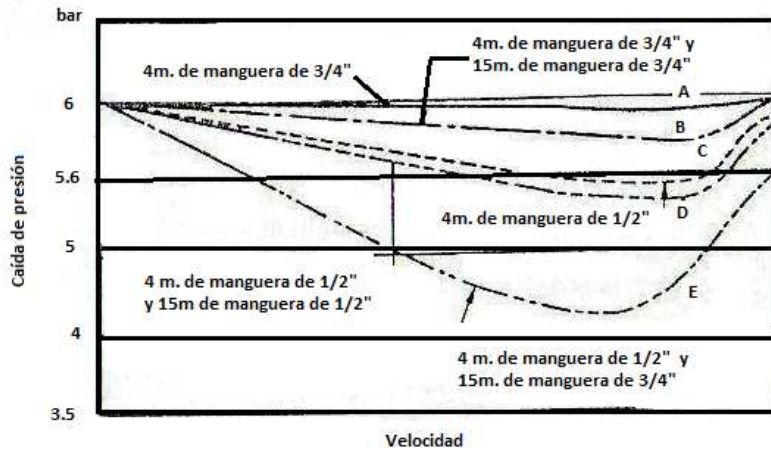
Pero en cambio al ir variando la longitud y el diámetro como en la curva D, se ve una pérdida en la potencia.

En la curva E se ve, que al tener el mismo diámetro pero distintas longitudes produce pérdidas en la potencia considerables.

En la figura 2.30 expresa el efecto de la velocidad sobre la caída de presión. En las mangueras se estima una velocidad de 29 m/s, cuando se supera esta límite las pérdidas

aumentan debido al rozamiento, y esta sumada a la pérdida por caída de presión da un valor a considerarse.

Figura 32. Caída de presión en función de la velocidad



Fuente: CARNICER. E 1990 "Aire Comprimido"

En la curva A indica que con un diámetro de $\frac{3}{4}$ " la caída de presión se mantiene casi constante. En la curva C nos indica que al reducir el diámetro de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " se aumenta la longitud al igual que las pérdidas.

En las curvas B, D y E describen cuando se combina diferentes tipos de mangueras y diferentes longitudes.

En el ANEXO A se describen la pérdida de presión de mangueras según su diámetro interior y longitud.

2.3.6 Consumo en cilindros de doble acción. El cilindro neumático es un elemento neumático en el cual el aire comprimido actúa sobre un émbolo y produce movimiento rectilíneo de avance y retroceso según sea la forma del cilindro. Son elementos frecuentemente usados, por encima de los accionadores rotativos, motores, pinzas y otros.

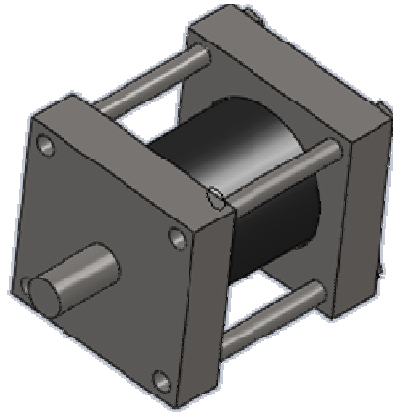
Existen dos clases de cilindro que son: los de simple y doble efecto.

El de simple efecto recibe aire a presión por una de sus cámaras, que suele ser la que produce el trabajo desplazando el vástago. El retroceso se lo produce de forma mecánica, bien por la acción de un resorte, o bien por la acción de la gravedad sobre masas solidarias al vástago.

Con la utilización del aire comprimido se logran velocidades que oscilan entre los 1,5 m/s en los convencionales hasta 10 m/s en los cilindros de impacto.

Los cilindros utilizados por la máquina envasadora de líquido son de doble efecto.

Figura 33. Cilindro de doble efecto máquina envasadora



Fuente: Autor

En los cilindros de doble efecto para hacer avanzar el vástago el aire a presión entra a la cámara trasera llenándola, desalojando el aire existente en la cámara delantera; para hacer retornar el vástago se hace el mismo procedimiento pero en este caso se llena la cámara delantera.

Consumo de aire en cilindros de aire.

El consumo de aire comprimido en este actuador como en otros es de vital de interés, ya que ayuda a tener una idea clara de las dimensiones del compresor y el gasto energético que se debe tener.

La utilización de aire en esta clase de cilindros se puede hacer conociendo:

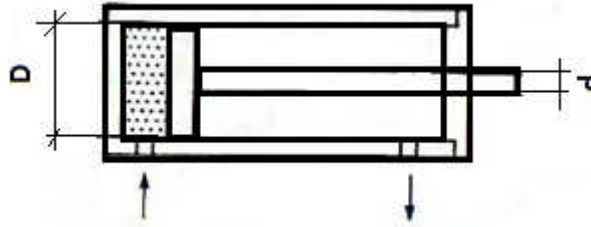
1. Diámetro del cilindro,
2. Sección del cilindro.
3. Su carrera.
4. El número de carreras y
5. La presión de servicio.

El gasto de aire se lo expresa a presión atmosférica o presión del aire libre. En los este tipo de cilindros es necesario considerar el ciclo completo (avance y retroceso)

Cálculo de volumen.

En los cilindros de doble efecto, el volumen de aire necesario por ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo es:

Figura 34. Cilindro neumático doble efecto



Fuente: Autor.

$$V = \frac{\pi}{4} \times (2D^2 - d^2) s \quad (17)$$

Siendo:

V = Volumen de aire en aire libre.

D = Diámetro interior del cilindro en cm.

d = Diámetro del vástago en cm.

s = Carrera del vástago en cm.

Caudal de aire comprimido en cilindros de doble efecto.

El consumo de aire a presión para cilindros de doble efecto viene dado por:

$$Q = s \times n \times q \left(\frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}} \right) \quad (18)$$

Dónde:

Q= Consumo de aire total en $\frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}}$.

q= Consumo de aire por centímetro en $\frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}}$ (ver tabla 4.6)

S = Carrera en centímetros.

n= Número de carreras por minuto.

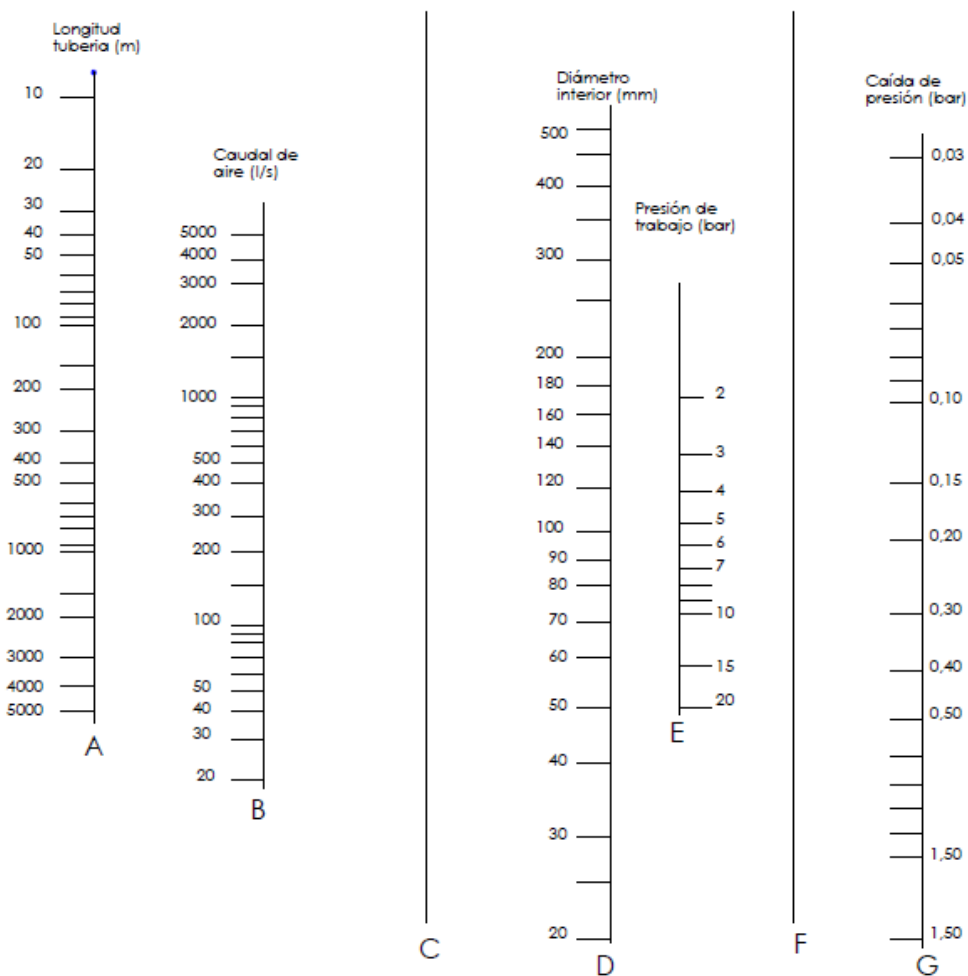
2.3.7 Diámetro de tubería. La forma más fácil de calcular el diámetro de la tubería es mediante el uso de los ábacos, que permiten determinar uso de la sección necesaria.

Primero se calcula el diámetro necesario teniendo en cuenta la longitud de la tubería, el consumo de aire comprimido en toda la empresa (teniendo en cuenta las futuras ampliaciones y caídas de presión en la red).

Después se calcula las pérdidas de carga que ocasionan los elementos y se transforma en metros de longitud recta; a esta longitud se suma la anterior, y se vuelve a efectuar el cálculo.

A continuación se representa un ábaco.

Figura 35. Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido



Fuente: CARNICER. E 1990 "Aire Comprimido"

En este ábaco se procederá de la siguiente manera: Teniendo la longitud de la red se va a la escala (A), luego se une al valor del caudal en la escala (B) cabe recalcar que en esta escala el caudal viene dado en l/s; el valor de A se unirá con B mediante una recta, cuya prolongación producirá una intersección con (C).

Luego se va a la escala E, en la cual se tiene la presión de trabajo, ésta se une a la caída de presión de admitida y queda un punto en la línea F, luego F y C se unen y tenemos como resultado el diámetro interior de la tubería. Siempre se selecciona el diámetro inmediato superior.

Cabe recalcar que en la red se procurará tener una pérdida del 1% de la presión de trabajo.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO, SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y PARTES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO DE LA EMPRESA SICARSA.

3.1 Generalidades.

Para el diseño de una red de distribución hay que tener en cuenta que las leyes que rigen para la transmisión energética son las mismas que rigen para la conducción de cualquier otro fluido a presión.

Esencialmente se trata de transportar el aire de un lugar a otro, con las pérdidas de presión mínimas y de la forma más económica posible.

Para la empresa SICARSA es de vital importancia la red, ya que su producto se fabrica con este tipo de energía.

También hay que tomar en cuenta:

- Definir el lugar en que se montarán las unidades consumidoras dentro de la empresa SICARSA.
- El consumo de aire en los puntos de utilización.
- Determinar la longitud nominal de los tubos.
- El tendido de la red, eligiendo las distancias más cortas.
- EL montaje se lo hará aéreo, pues se tiene una mejor inspección y mantenimiento.
- Al sujetar las tuberías se deberá considerar las fluctuaciones de temperatura, y la compensación para estas variaciones longitudinales.
- Las tomas de aire para bajantes nunca deben hacerse en la parte inferior de la tubería. Sino por la parte superior, de no hacerlo así se corre el riesgo de que el aire entre con condensado.

3.1.1. Presión de trabajo.La presión con que se trabajara en la empresa y todos los equipos neumáticos es de 7 bar.

3.1.2. Caída mínima de presión.La caída mínima de presión que se admitirá en la red es del 1%

3.1.3. Pérdidas por fugas mínimas. Las fugas que se admitirán en la red son del 10 % del caudal total de la red, una vez calculada se deberá tener en cuenta este valor

3.2 Consumo específico.

Como se lo explicó anteriormente, es el consumo de aire requerido para el servicio continuo a la presión de trabajo y su unidad es en aire libre que viene expresado en $\frac{\text{litros}}{\text{min}}$

3.3 Coeficiente de utilización

En los datos experimentales que se hace a la máquina envasadora se tiene:

Tabla 18. Coeficiente de utilización de la máquina envasadora

cilindro	Tiempo de para	Porcentaje % = $\frac{t_{de\ para}}{t_{total}}$
Cilindro 1	0,125	40 %
Cilindro 2	0,125	40 %
Cilindro 3	0,0625	20 %

Durante las pruebas realizada a la máquina el tiempo que se demora la máquina en completar ciclo total de la máquina es $t = 0,3125$ seg.

3.4 Coeficiente de simultaneidad.

Ahora, se tiene el promedio del coeficiente de utilización de la máquina.

Tabla 19. Coeficiente de simultaneidad de la máquina envasadora

Cilindro	%
Cilindro 1	40
Cilindro 2	40
Cilindro 3	20
Promedio	33,33

Para objetivos de cálculos se trabajará con un coeficiente del 40%.

3.5 Consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos.

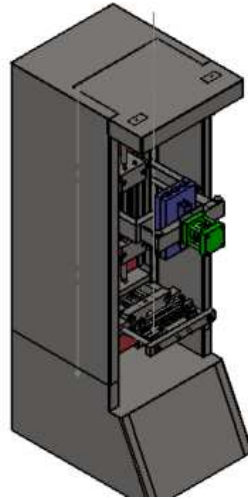
Movimiento de los cilindros en la máquina envasadora

La secuencia de movimientos en los cilindros de la máquina envasadora es:

C+ / A+ / B+ C- / B- / A- /

Teniendo a los cilindros tal y como se los muestra en la fotografía de la máquina.

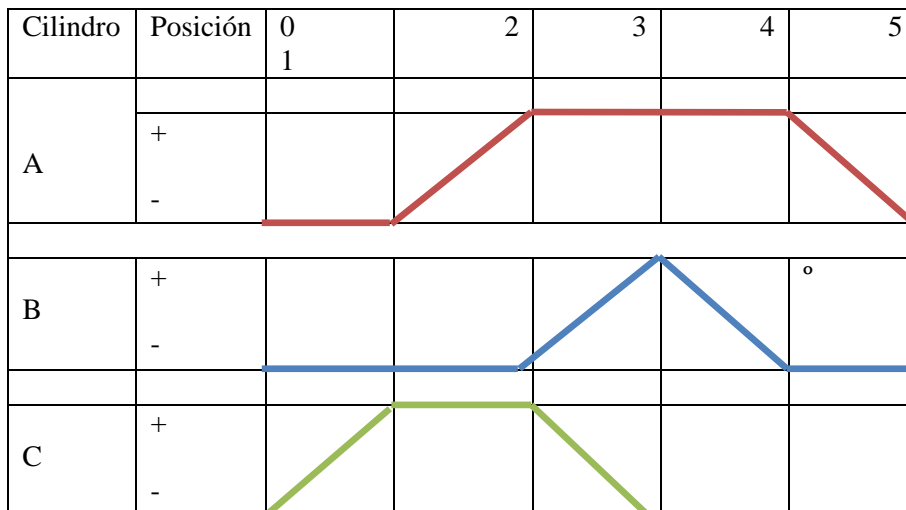
Figura 36. Máquina envasadora de líquidos de la empresa SICARSA.



Fuente: Autor

Los cuales tienen el siguiente esquema; cabe recalcar que en el signo + representa la salida del cilindro y el signo – el retorno del mismo.

Figura 37. Diagrama de movimientos de los cilindros neumáticos de la máquina envasadora



Fuente: Autor

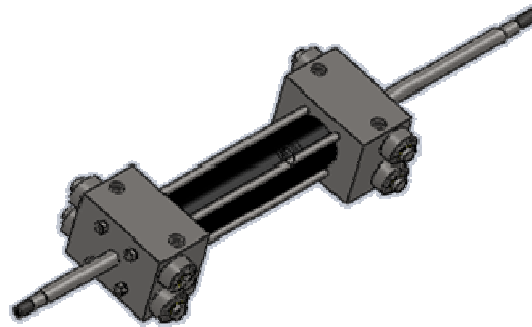
Con lo que podemos ver que el término del ciclo cumple 5 posiciones en los cilindros. Del paso 0 al 1 existe un tiempo de 0.0625 segundos.

Tenemos los tres cilindros en los cuales se va a tener las medidas en los planos.

Cilindro 1

$$Q = 2 \times s \times n \times q \text{ (Litros/minutos)} \quad (19)$$

Figura 38. Cilindro central de la máquina envasadora



Fuente: Autor

S=26

D = 62,5 mm

Tabla 20. Consumo de aire por centímetro

PRESIÓN DE TRABAJO EN BAR															
Diámetro de cilindro mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,0030	0,033	0,0036	0,0038	0,0041	0,0044
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018
16	0,004	0,006	0,008	0,010	0,011	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,032
25	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,057	0,062	0,067	0,071	0,076
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103	0,112	0,121	0,131	0,140	0,149
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,110	0,122	0,135	0,146	0,157	0,171	0,183	0,195
50	0,039	0,058	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,210	0,229	0,248	0,267	0,286	0,305
70	0,076	0,113	0,150	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411	0,448	0,485	0,523	0,560	0,597
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839	0,915	0,991	1,067	1,143	1,219
140	0,303	0,452	0,601	0,750	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644	1,793	1,942	2,091	2,240	2,389
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356	3,660	3,964	4,268	4,572	4,876
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,432	3,817	4,292	4,768	5,243	5,718	6,193	6,668	7,144	7,619

Fuente: Carnicer Royo, Aire Comprimido[6]

$$Q = 0,24425 \text{ Litros/cm de carrera}$$

$$N = 30$$

$$Q = 2 \times 26 \text{ cm} \times 30 \times 0,24425$$

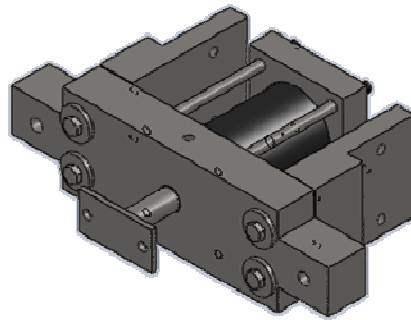
$$Q = 381,03 \text{ Litros/minuto}$$

$$Q = 6,35 \text{ Litros/ segundo}$$

Cilindro2

$$Q = 2 \times s \times n \times q \text{ (Litros/minutos)}$$

Figura 39. Cilindro de la máquina envasadora de líquidos



Fuente: Autor

$$S = 9,5 \text{ cm}$$

$$D = 62,5 \text{ mm}$$

$$Q = 2 \times 9,5 \text{ cm} \times 30 \times 0,24425$$

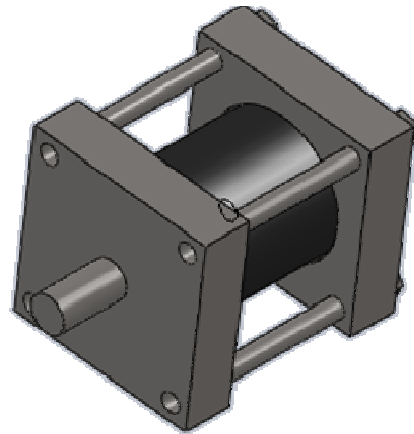
$$Q = 139,22 \text{ Litros/minuto}$$

$$Q = 2,32 \text{ Litros/ segundo}$$

Cilindro 3

$$Q = 2 \times s \times n \times q \text{ (Litros/minutos)}$$

Figura 40. Cilindro de la máquina envasadora



Fuente: Autor

$$S = 5 \text{ cm.}$$

$$D=62,5$$

$$Q = 2 \times 5 \text{ cm} \times 30 \times 0,24425 \text{ Litros/minuto}$$

$$Q = 73,28 \text{ Litros/minuto}$$

$$Q = 1,22 \text{ Litros/ segundo}$$

3.6 Número de compresores.

Al concretar las necesidades de aire se debe tener en consideración el número de compresores a instalar. Se puede instalar compresores pequeños o uno grande.

El compresor al ser un elemento que necesita mantenimiento, eventualmente al sacarlo de funcionamiento se pararía la producción. Al considerar el costo por metro cúbico de aire comprimido, basta con elegir un compresor grande, pero al tener una unidad de reserva se tiene que la inversión es excesiva. [6]

Para solucionar se da esta alternativa conocida como “2 + 1”; que no es más que tener tres unidades en las cuales dos entran en funcionamiento abasteciendo cada una con la mitad del caudal necesario y la tercera está en reserva.

3.7 Diseño de la red de distribución de aire comprimido.

3.7.1 Disposición de red de aire. Con la premisa de obtener una red de distribución económica y analizando las características de cada una de ellas se opta red de forma abierta.

Ya que en este tipo de red tenemos la certeza de dirección de flujo con lo que el tratamiento puede ser convencional, así mismo se puede evitar la implementación de un secador que es necesario en una red de tipo cerrado.

Las dimensiones en donde se tenderá la red de distribución de la empresa se encuentra en la sección planos A.

3.8. Red de distribución

Una vez expuesto los fundamentos teóricos y realizados los cálculos del consumo de aire que se va a utilizar en la empresa, se dispondrá a dimensionar la red; cabe recalcar que se considerará un sobredimensionamiento que abarca futuras ampliaciones de la empresa.

También se considerará la fuente de energía como el compresor.

Hay que anotar que los cilindros neumáticos están contruidos para soportar presiones de trabajo de 6 a 7 bar lo que garantiza un correcto funcionamiento. Presiones superiores serán soportadas por la unidad de mantenimiento las que son indispensables en el funcionamiento del sistema neumático.

Es necesario conocer el caudal para poder conocer qué cantidad de aire va a circular por cada línea de la red.

En el sistema se tiene tres cilindros neumáticos los cuales consumen:

$$\text{Cilindro 1: } Q_1 = 6,35 \frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}}$$

$$\text{Cilindro 2: } Q_2 = 2,32 \frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}}$$

$$\text{Cilindro 3: } Q_3 = 1,22 \frac{N \text{ litros}}{\text{minutos}}$$

Cabe recalcar que se considerará traer una nueva máquina con las mismas características, lo cual implica que en la red se tenga en cuenta la ampliación y para lo cual se dejará una toma de aire.

Así mismo se debe considerar en el plano la instalación una pistola de limpieza que consumirá alrededor de 2,5 NI/s, y en la cual se ponga cualquier otro tipo de herramienta neumática. También se tendrá una toma libre de aire comprimido para que eventualmente sea utilizada para distintas aplicaciones en mantenimiento. En esta toma se planifica que se conecten distintas herramientas neumáticas necesarias para el mantenimiento de la máquina envasadora, como lo son:

Tabla 21. Elementos neumáticos para el mantenimiento

Herramienta	Consumo N m ³ /minuto	Consumo en N litros/seg
Pistola de limpieza	0,15	2,5
Atornillador	0,35	5,83
Taladro	0,56	10,83
Pistola Pintar	0,15	2,5

Fuente: Hesse Stefan, Aire comprimido como fuente de energía. [1]

Teniendo un total de consumo de:

$$Q_5 = 2,5 + 5,83 + 10,83 + 2,5 \text{ NI/s.}$$

$$Q_5 = 21,66 \text{ NI/s.}$$

El consumo total será de:

$$Q_t = 2(Q_1 + Q_2 + Q_3) + Q_4 + Q_5 \quad (20)$$

$$Q_t = 43,94 \frac{N \text{ litros}}{\text{seg}}$$

A este valor se lo debe multiplicar por el coeficiente de simultaneidad del 40% que indica la probabilidad de utilizar todos los equipos a la vez. La cantidad de aire libre disponible suministrada queda expresada:

$$Q = C_s \times Q_t \quad (21)$$

$$Q = 40 \% \times 43,94$$

$$Q = 17,58 \text{ Litros / seg}$$

Ahora se debe aumentar un 10% para contrarrestar las pérdidas de aire en el sistema de aire y un 25% para una futura ampliación. Con lo que tenemos:

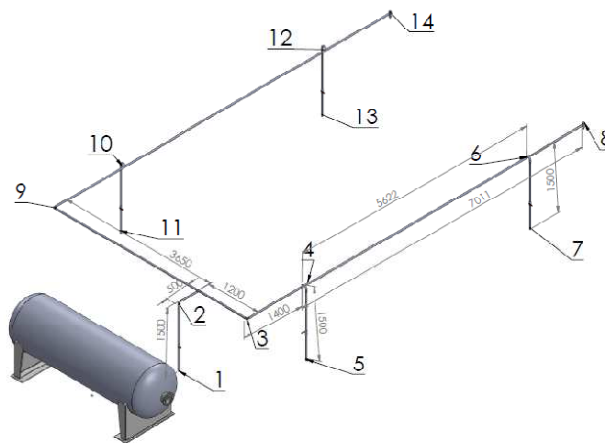
$$Q'' = Q + (Q \times 35 \%) \quad (22)$$

$$Q'' = 17,58 \times 1,35 \%$$

$$Q'' = 23,73 \text{ Litros / seg.}$$

Una vez calculado el caudal necesario para el requerimiento deseado se procede a hacer la distribución de la red que según los planos de la empresa que se encuentra en el PLANOB se puede observar el espacio destinado para el área de producción (donde se tenderá la red neumática). Las longitudes y la distribución de la red se describen el siguiente esquema:

Figura 41. Red de distribución



Fuente: Autor

Las longitudes que se necesitarán están expresadas en el plano con las siguientes longitudes:

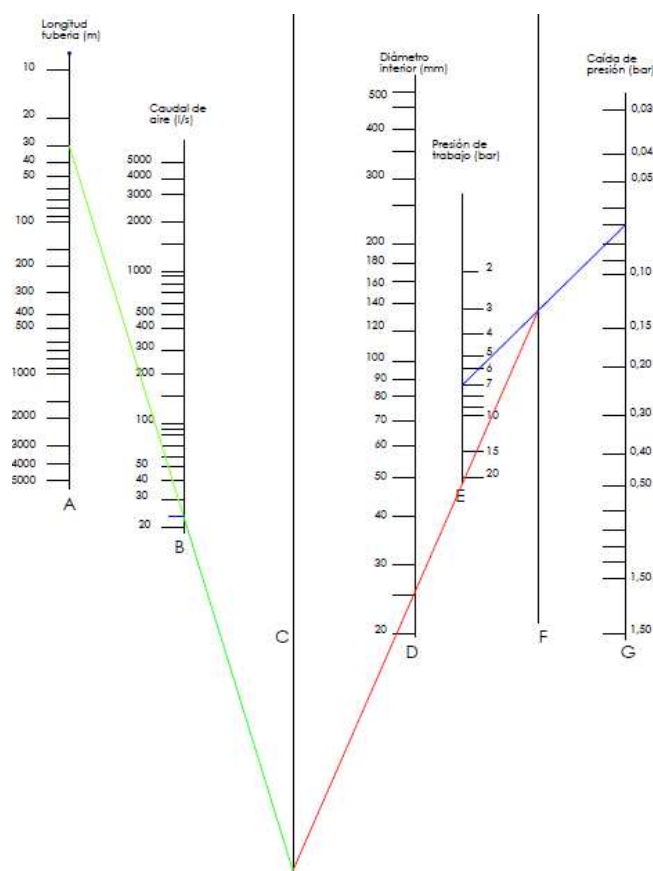
- Longitud 1: 8,4 metros
- Longitud 2: 8,4 metros
- Longitud 3: 4,85 metros
- Bajantes: 6 metros

Tenemos una longitud total de 30 metros.

Con estos datos existentes se puede calcular el diámetro de la tubería con el ábaco de la figura 35.

Y los valores que tenemos son:

Figura 35. Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido [6]



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”.

El diámetro encontrado es de 1”; lo cual es tentativo porque a este valor se tiene que aumentar las pérdidas de los accesorios empleados expresados por medio de longitudes equivalentes.

A continuación se detalla en la tabla 22 los accesorios utilizados en la red.

Tabla 22. Longitud equivalente de accesorios

Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente [Le]	Total
Te	5	2	10
Codo a 90° 1”	3	0,3	0,9
Válvula de cierre 1”	1	3	3
Válvula de cierre ¾”	4	1,5	6
Racor acodado ¾”	4	1,5	6
Codo 180° 1”	4	1,8	7,2
Reductor	4	0,5	2
TOTAL			35,1

Fuente: Carnicer Royo, Aire comprimido.

A esta longitud de tubería se suma la longitud real de tubería teniendo:

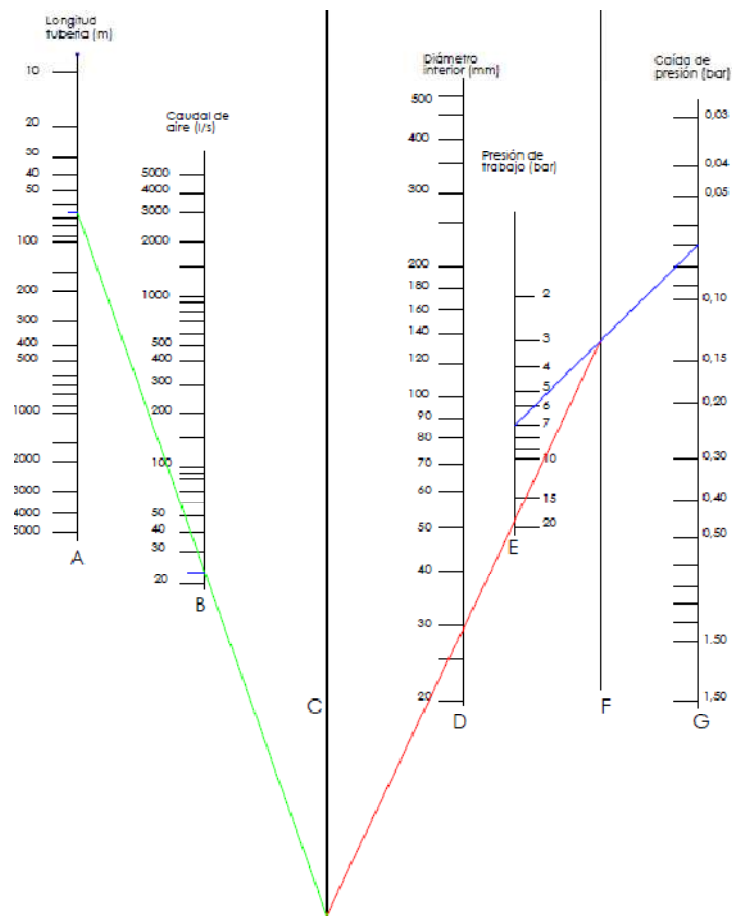
$$L_T = L_{Tuberia} + L_{equivalente} \quad (23)$$

$$L_T = 30 + 35,1$$

$$L_T = 65,1$$

Ahora con esta nueva longitud de tubería se tiene que ir al ábaco y realizar el procedimiento antes mencionado en el cual tendremos un nuevo diámetro que es el siguiente:

Figura 35. Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido [6]



Fuente: CARNICER, E., (1990), "Aire Comprimido".

El diámetro de la red principal es: 1 1/4"

Y como para los bajantes se necesitará una velocidad superior como se lo vio anteriormente se considera una tubería de 3/4".

La tubería será de acero galvanizado roscado para mayor facilidad de montaje.

Para comprobar si el diámetro encontrado es el indicado se procede a calcular el diámetro con el dato encontrado:

Tabla 23. Longitud equivalente de accesorios 1 ¼”

Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente [Le]	Total
Te	5	2,5	12,5
Codo a 90° 1 ¼”	3	0,4	1,2
Válvula de cierre 1 ¼”	1	3	3
Válvula de cierre ¾”	4	1,5	6
Racor acodado ¾”	4	1,5	6
Codo 180° 1 ¼”	4	2	8
Reductor	4	0,6	2,4
TOTAL			39,1

A esta longitud de tubería se suma la longitud real de tubería teniendo:

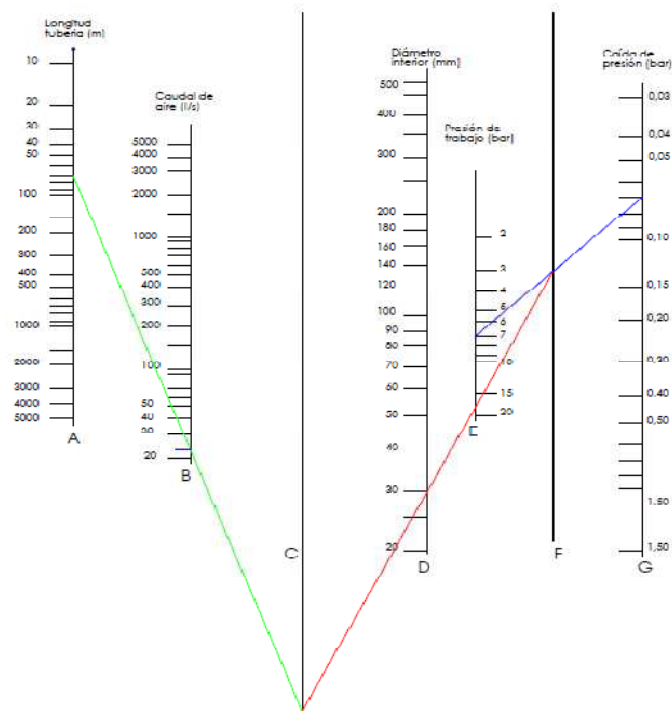
$$L_T = L_{Tubería} + L_{equivalente}$$

$$L_T = 30 + 39,1$$

$$L_T = 69,1$$

Con este valor se entra en el ábaco y se calcula el diámetro:

Figura 35. Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido [6]



Fuente: CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”.

Y se comprueba que el diámetro es de 1 ¼”.

El caudal del mismo se distribuirá proporcionalmente al requerimiento del mismo como se indica:

Tabla 24. Diámetros de la red de distribución.

Tramo	Tipo de tubería	Velocidad máxima m/s	Caudal (NI/s)	Diámetro nominal SCH 40 pulg
1-2	Principal	8	23,73	1 1/2”
4-5	Bajantes	15	10	3/4”
10-11	Bajantes	15	10	3/4”
6-7	Bajantes	15	1,86	3/4”
12-13	Bajantes	15	1,86	3/4”

Fuente: Autor

Luego de esta selección preliminar del diámetro de las tuberías, se requiere efectuar una verificación de las pérdidas de carga existentes en el sistema.

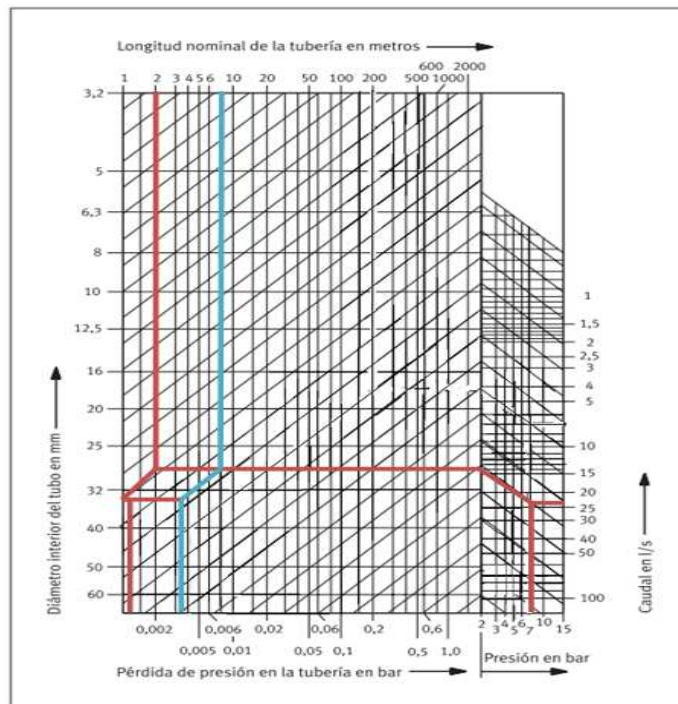
TRAMO 1-2

Diámetro nominal: 1 ¼”

Longitud recta: 2 m

Caudal circundante: 23,73 L/s

Figura 42. Nomograma para determinar las pérdidas de presión en tuberías



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”.

Pérdidas por tramo recto: 0,0005

Accesorios:

1 Te 1 ¼"	LE= 2,5m
1 codo 90 1 ¼"	LE= 0,4m
1 válvula de cierre 1 ¼"	LE= 3
1 Racor acodado	LE= 1,5
	LEt= 8,9 m

Pérdida de carga en accesorios:0,0035

Pérdida de carga total del tramo 1-2: $0,0005 + 0,0035 = 0,0040$ bar

TRAMO 2-3 y 3-8

Diámetro nominal: 1 ¼"

Longitud recta: 9,613 m

Caudal circundante: 23,73 L/s

Pérdidas por tramo recto: 0,0034

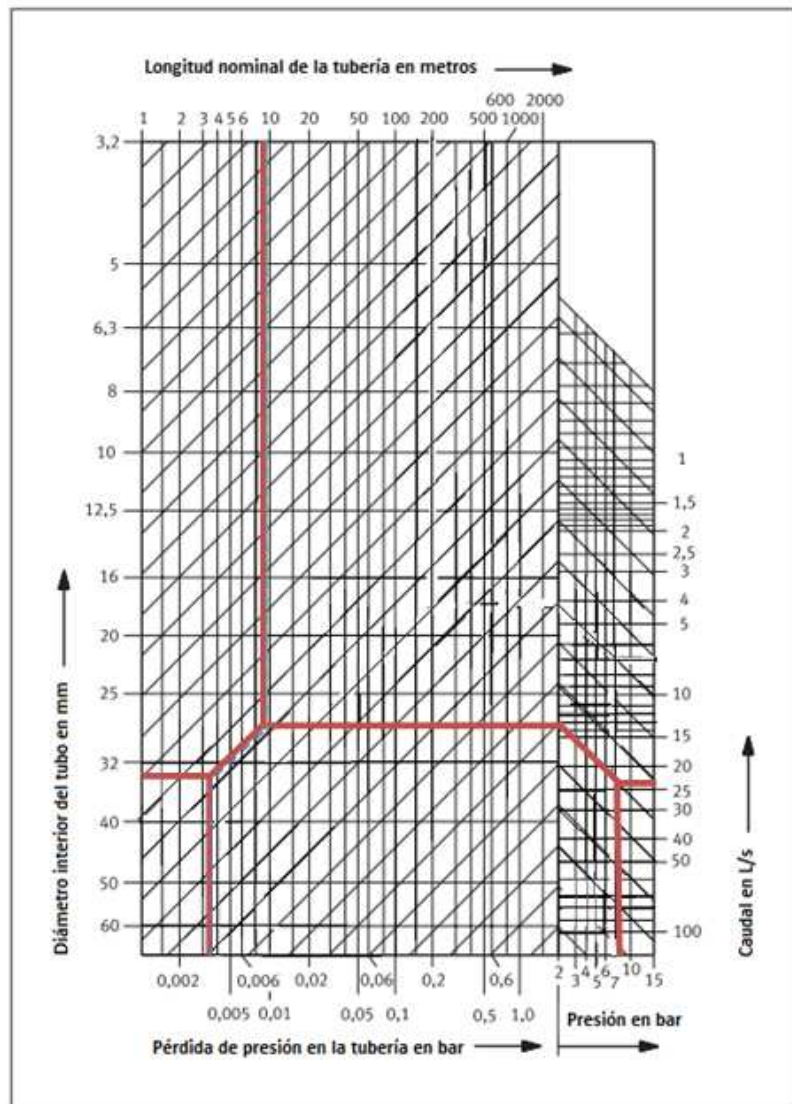
Accesorios:

3 Te 1 ¼"	LE= 3x3= 9m
1 codo 90 1 ¼"	LE= 0,4m
	LEt= 9,4m

Pérdida de carga en accesorios: 0,0032bar

Pérdida de carga total del tramo 3-2: $0,0034 + 0,0032 = 0,0066$ bar

Figura 42. Nomograma para determinar las pérdidas de presión en tuberías.



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”.

TRAMO 4-5

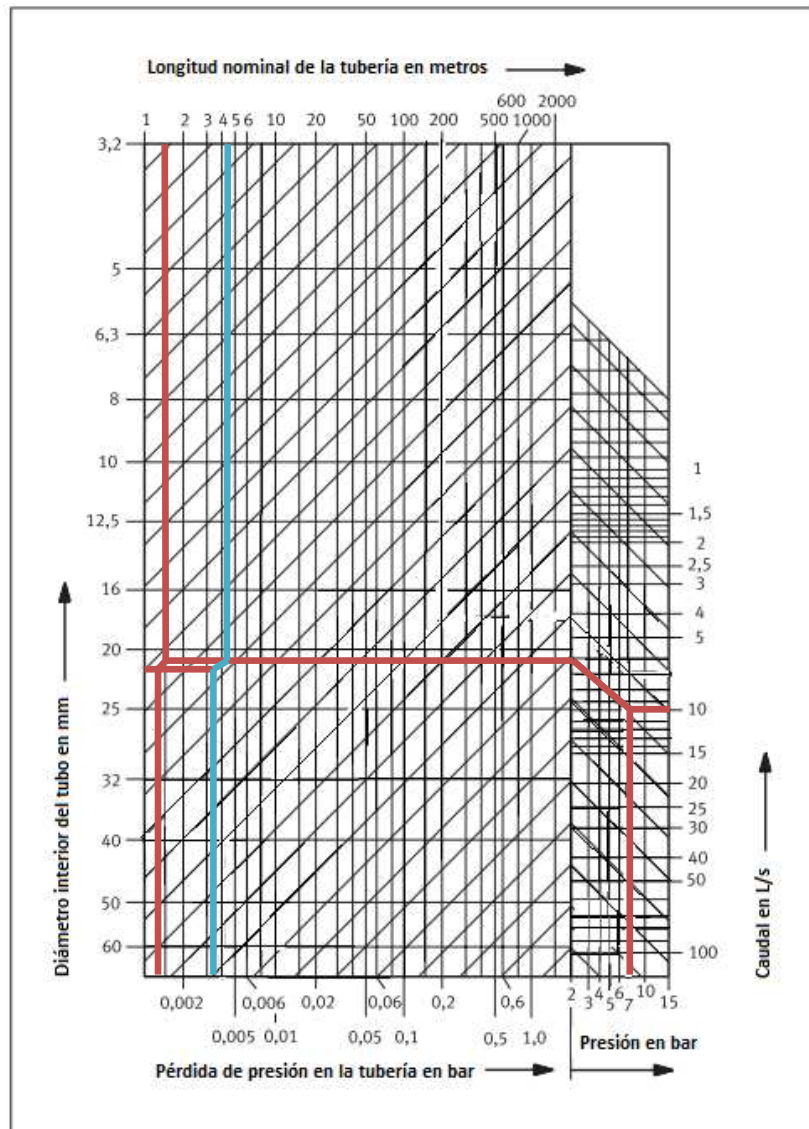
Diámetro nominal: 3/4”

Longitud recta: 1,5 m

Caudal circundante: 10 L/s

Pérdidas por tramo recto: 0,00081

Figura 42. Nomograma para determinar la pérdida de presión en tuberías



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”.

Pérdidas por tramo recto: 0,00081

Accesorios:

1 codo 180 1 1/4"	LE= 1,8 m
1 Racor acodado 90 3/4"	LE= 0,6m
1 válvula de cierre 3/4"	LE= 1,5
1 Manguito Reductor	LE= 0,6
	LEt= 4,5 m

Pérdida de carga en accesorios: 0,0033

Pérdida de carga total del tramo 4-5: $0,00081 + 0,0033 = 0,00411$ bar

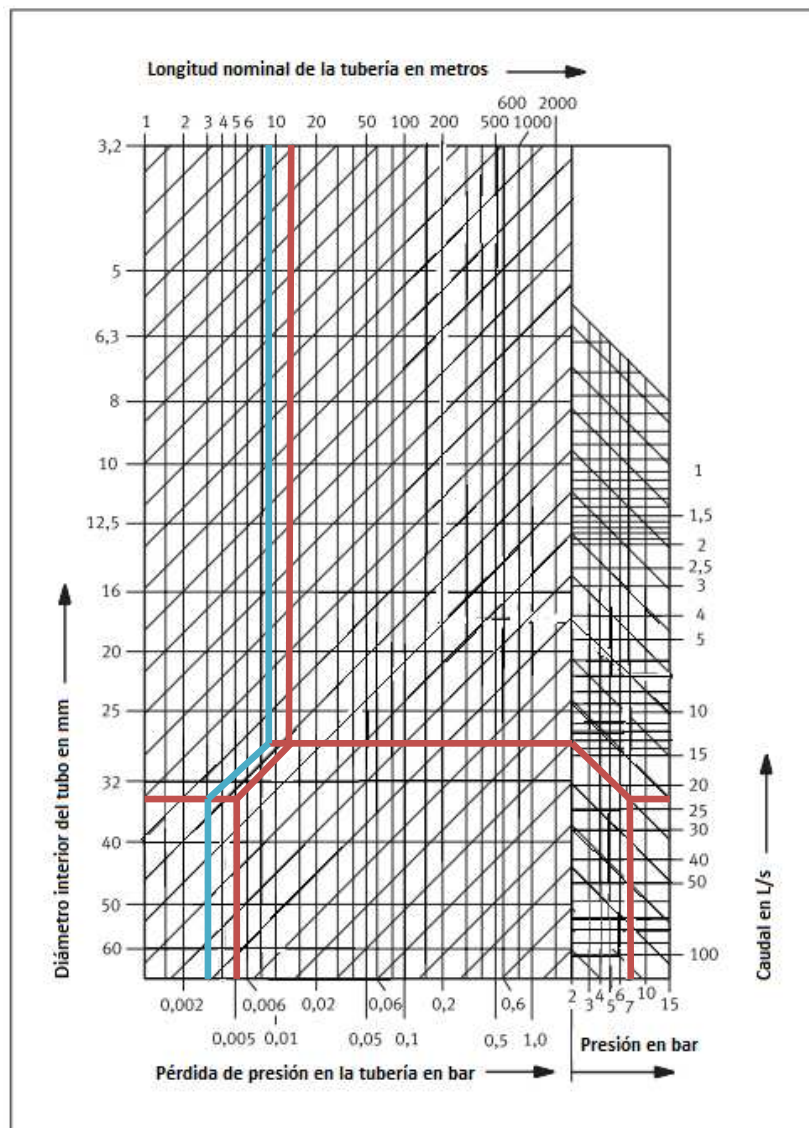
TRAMO 2-9 y 9-14

Diámetro nominal: 1 ¼”

Longitud recta: 12,038 m

Caudal circundante: 23,73 L/s

Figura 42. Nomograma para determinar la pérdida de presión en tuberías



Fuente: Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”.

Pérdidas por tramo recto: 0,0053

Accesorios:

$$3 \text{ Te } 1 \frac{1}{4}'' \quad \text{LE} = 3 \times 3 = 9\text{m}$$

$$1 \text{ codo } 90 \text{ } 1 \frac{1}{4}'' \quad \text{LE} = 0,4\text{m}$$

$$\text{LEt} = 9,4\text{m}$$

Pérdida de carga en accesorios: 0,0030 bar.

Pérdida de carga total del tramo 9-2: $0,0053 + 0,0030 = 0,0083$ bar

Cabe recalcar que las secciones 4-5; 6-7; 10-11; 12-13, tienen las mismas longitudes y cuentan con los mismo accesorios. Por lo que las pérdidas en estos tramos son las mismas y tendremos:

$$\text{Pérdidas Presión}_{TOTAL} = P_{1-2} + P_{2-8} + P_{2-14} + 4xP_{4-5} \quad (24)$$

$$PP_{TOTAL} = 0,0040 + 0,0066 + 0,0083 + 4x0,00411$$

$$PP_{TOTAL} = 0,03534$$

Se debe tener presente que en una red neumática las pérdidas admisibles comprende del 1% al 3% de la presión de trabajo.

Para la red de la empresa SICARSA se toma la pérdida del 1% que es:

$$P_{admitida} = 1\% \text{Presión}_{trabajo} \quad (25)$$

$$P_{admitida} = 1\% \times 7 \text{ bar}$$

$$P_{admitida} = 0,07 \text{ bar}$$

La pérdida de la red con el diámetro exacto de la tubería y de los accesorios que involucraría la red son:

$$PP_{TOTAL} = 0,03534$$

Con lo que se puede observar que el valor está dentro del límite establecido.

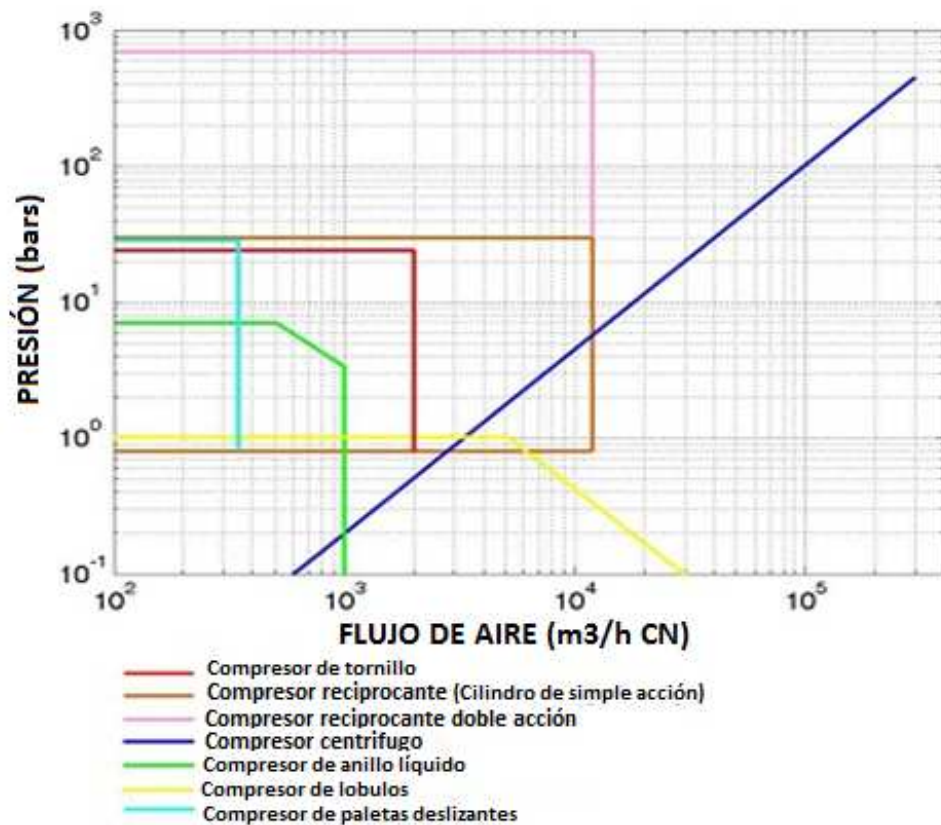
3.9. Selección de elementos.

3.9.1. Selección de la alternativa sobre el tipo de compresor. Para seleccionar el tipo de compresor que más se adecue a la fábrica SICARSA es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de compresor.
- Con lubricación o sin lubricación.
- Potencia del motor.

Como se ha explicado anteriormente existen una variedad de tipos de compresor y para tener un criterio de selección el tipo de compresor que se necesita se recurrir a la siguiente figura:

Figura 43. Selección de compresor



Especificación de caudales y potencias de los tipos de compresores.

Tabla 25. Tipos de compresores

Tipo de compresor	Caudales	Potencia específica
De simple efecto y una etapa refrigerados por aire.	Hasta $1 \frac{m^3}{min}$	$< 10 \text{ CV} / \frac{m^3}{min}$
De simple efecto y dos etapas refrigerados por aire	Desde 2 hasta $10 \frac{m^3}{min}$	$7.6 < W < 8.5 \text{ CV} / \frac{m^3}{min}$
De doble efecto y dos etapas, refrigerados por agua	Desde 10 hasta $100 \frac{m^3}{min}$	$6.6 < W < 7 \text{ CV} / \frac{m^3}{min}$
De simple efecto y dos etapas refrigerados por aire (sin engrase)	Desde 2 hasta $10 \frac{m^3}{min}$	$7.2 < W < 9 \text{ CV} / \frac{m^3}{min}$

Fuente: Sistema Producción de Transporte de Aire Comprimido [5]

Los compresores lubricados tienen una vida más larga, pero debemos tener en cuenta que es importante el que reciban un mantenimiento adecuado. Este mantenimiento no es complicado, pero tenemos que realizarlo.

Por estas razones y teniendo un caudal necesario de:

$$Q = 23.73 \text{ L/s} = 1.43 \text{ m}^3/\text{min}$$

Es necesario un compresor de dos etapas refrigerado por aire.

3.9.2. Selección de la alternativa sobre la acumulación del aire comprimido. Es ideal tener un tamaño adecuado de compresor ya que compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido.

El tamaño de un acumulador de aire comprimido depende:

- Del caudal de suministro del compresor
- Del consumo de aire
- De la red de tuberías (volumen suplementario)
- Del tipo de regulación
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red.

Determinación del acumulador cuando el compresor funciona intermitentemente

Dónde:

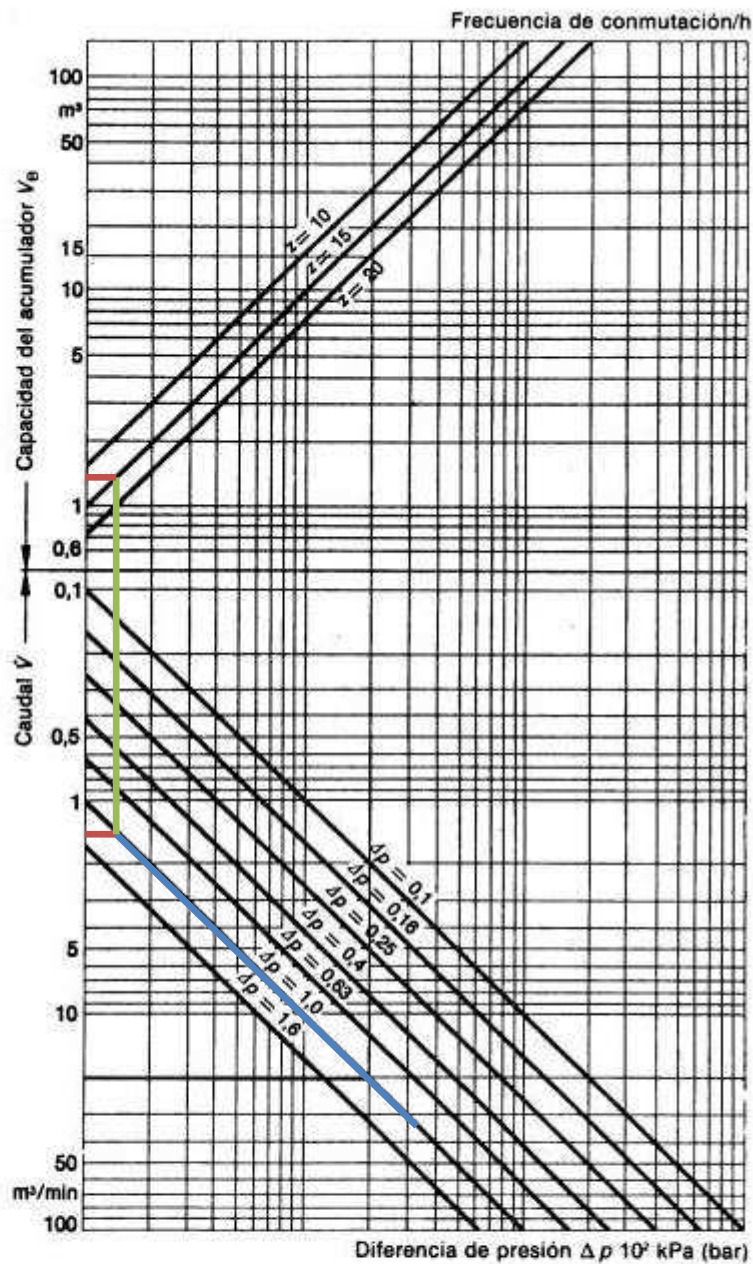
$$\text{El caudal es: } Q = 23.73 \frac{\text{Lt}}{\text{seg}} = 1,42 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Donde se permitirá que la conmutación sea 15, ya que lo recomendado es que no arranque más 15 veces por hora.

Y se permitirá un diferencia de presión en la red de 0,7 bar.

Para ayudar a tener una idea del volumen del depósito de aire del compresor es necesario apoyarse en el siguiente diagrama:

Figura 6. Volumen del acumulador de aire comprimido [5]



Fuente: Sistema Producción de Transporte de Aire Comprimido [5]

Con lo seleccionado se tiene que para abastecer nuestra red se necesitan alrededor de 1.2 m³.

3.9.3. Selección de accesorios. Los accesorios descritos en la red son los siguientes, se debe seleccionar los accesorios que presenten menor rugosidad:

Tabla 26. Accesorios de la red de aire comprimido


ACCESORIO	CANTIDAD
Te	5
Codo a 90°	3
Válvula esférica	3
Racor acodado	4
Unidad de Mantenimiento	4
Purga	2

Fuente: Autor.

Racor.

El racor seleccionado es de la marca FESTO y se lo selecciona en conformidad a la necesidad de la red, cabe recalcar que en los bajantes donde se va a colocar el diámetro es de ¾ in, con ese referente se tiene la siguiente tabla.

Tabla 27. Tabla de racores

Forma	Ejecución	Tipo	Conexión D1			Conexión D2		
			Rosca M	Rosca G ¹	Rosca R ¹	Rosca M	Rosca G ¹	Rosca R ¹
Racor en L: rosca exterior/rosca inferior								
	NPFB-L	M5		-	-	-	-	
			G ¹ / ₈			R ¹ / ₈		
			G ¹ / ₄			R ¹ / ₄		
			G ³ / ₈			R ³ / ₈		
			G ¹ / ₂			R ¹ / ₂		
			G ³ / ₄			R ³ / ₄		
			G1				R1	

Fuente: Catálogo de racores festo.

Las características de este racor son:

Racor en L NPFB-L

Presión de funcionamiento: -0,95...+40bar

Temperatura ambiente: -20 a +150 °C


Fluido: Apropriado para aire comprimido y vacío

Material: Latón niquelado

Características del material: Conformidad con RoHS

Y se selecciona un racor con una rosca $\frac{3}{4}$ y una salida de $\frac{1}{4}$ in.

Tabla 28. Tabla de dimensiones y referencia de racor.

Dimensión y Referencias													
Conexión		D3	D4	D5	L1	L2	L3	H1	H2	H3		Peso/Unidad (g)	N° art. Tipo
D1	D2	∅	∅	∅									
M5	M5	4,2	2	7,5	15.5	11.5	4	17	15.5	4	8	6	547722 NPFBL-2M5-MF
G $\frac{1}{8}$	R $\frac{1}{8}$	6	5.2	13	25.5	19	8	25	20	7	10	18	547723 NPFBL-R18-G18-MF
G $\frac{1}{4}$	R $\frac{1}{4}$	9	8	19	32	24	12.5	32	25.5	8	13	32	547724 NPFBL-R14-G14-MF
G $\frac{3}{8}$	R $\frac{3}{8}$	10	11	20,5	36.75	26.5	13.6	37.5	29	10	17	55	547725 NPFBL-R38-G38-MF
G \square_2	R \square_2	14	14	25.5	44.25	31.5	15.5	45.5	35	11	20	99	547726 NPFBL-R12-G12-MF
G $\frac{3}{4}$	R $\frac{3}{4}$	19	19	32	49	33	16	49.75	36.5	16.5	25	120	547727 NPFBLR34-G34-MF
G1	R1	24	24	39	38.5	39	17	60.5	45	19	30	212	547728 NPFBL-R1-G1-MF

Fuente: Catálogo de racores festo.

Selección de Unidad de mantenimiento:

Para seleccionar una unidad de mantenimiento se necesita de estos parámetros:

Presión es de 7 bar o 101,5 psi.

Caudal es de 600 L/min.

Temperatura: 20 °C.

Con una rosca de entrada de $\frac{1}{4}$ in.

Se selecciona una unidad de mantenimiento de la marca FESTO del modelo FRC/FRCS, serie D, ejecución metálica.

Caudal: 90 a 8 700 l/min

Temperatura: -10...+60°C

Figura 44. Unidad de mantenimiento FESTO



Fuente: Catálogo de unidades de mantenimiento festo.

Caudal: 90 a 8 700 l/min

Temperatura: -10...+60°C

Presión de entrada: 1 a 16bar

Los datos técnicos de esta unidad de mantenimiento son:

Tabla 29. Datos técnicos de la unidad de mantenimiento.

Datos técnicos generales															
Tamaño	Micro					Mni			Midi				Max		
Conexión neumática	M5	M7	G $\frac{1}{8}$	QS4	QS6	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{1}{2}$	G $\frac{3}{4}$	G $\frac{1}{2}$	G $\frac{3}{4}$	G1
Fluido	Aire comprimido														
Construcción	Unidad de filtro y regulador .con o sin manómetro														
	Lubricador proporcional estándar														
Tipo de Fijación	Con accesorios														
	Montaje en línea														
Posición de montaje	Vertical=5°														
Seguridad contra accionamiento involuntario	Botón giratorio con enclavamiento														
	-					Botón giratorio con cerradura integrada									
Grado de filtración (μm)	5					5640									
Histéresis máxima de la presión (bar)	0.3					0.2							0.4		
Margen de la regulación de la presión (bar)	0.5.....7					0.5.....7									
Indicación de presión	Con manómetro														
	M5 en preparación					G $\frac{1}{8}$ en preparación			G $\frac{1}{4}$ en preparación				G $\frac{1}{4}$ en preparación		
Cantidad máx. de condensado (cm \square)	3					22			43				80		
Presión de entrada (bar)															
Pulgada de con. Manual con giro saldo semi automática	1...10					1...16									
	1...10					-									
Automática	-					2...12									

Fuente: Catálogo de unidad de mantenimiento FESTO [11]

Cabe recalcar que es la unidad de mantenimiento tiene:

Filtro, regulador y lubricador en una unidad

Gran caudal y eficiencia de retención de partículas de suciedad

Y el aceite con el que trabaja el lubricador es Viscosidad según ISO 3448 clase VG 32 mm²/s (cts.) con 40 °C.

Selección de purgador.

Para seleccionar un purgador de condensado se debe conocer el caudal que vamos a manejar, la presión y temperatura a la que debe funcionar.

Presión es de 7 bar o 101,5 psi.

Caudal es de 23,73 L/seg o 1423,8 L/min.

Temperatura: 20 °C.

Se selecciona según el catálogo de FESTOMS9-LWS, serie MS la características son:

Figura 45. Purgador FESTO



Fuente: Catálogo de purgador festo.

- Separación constante del condensado (99 %), también con caudal máximo
- Depósito metálico
- A elegir con descarga de condensado manual, automática o con descarga automática controlada eléctricamente.

Tabla 30. Datos técnicos del purgador FESTO

Datos técnicos generales Tamaño M59			
Conexión neumática 1.2	G $\frac{3}{4}$	G1 G $\frac{1}{2}$...G $\frac{1}{2}$ (CON PLACA BASE AG...)	-(SIN ROSCA DE CONEXIÓN G)
Construcción	Separación por fuerza centrífuga		
Tipo de fijación	Con accesorios		
	Montaje en línea		
Posición de montaje	Vertical=5°		
Clase de pureza del aire en la salida	Aire comprimido según Iso8573-1=2010(-:7:-)		
Protección del depósito del filtro	Metálica-integrada		
Descarga de condensado	Automática		
	Automática. control eléctrico		
Grado de descarga de (%) condensado	99		
Cantidad max.de (ml) condensado	220		

Fuente: Catálogo de purgador FESTO.

La capacidad máxima es caudal se muestra en el siguiente gráfico.

Tabla 31. Caudal nominal del purgador

Caudal nominal normal qnN1 (1/min)			
Conexión neumática	Rosca G $\frac{3}{4}$ o placa base AGE	Rosca g1 o placa base AGF	Sin rosca de conexión g
qnN (1/min)	12000±15%	15000±15%	15000±15%

Fuente: Catálogo de purgador FESTO.

Y las condiciones de entorno que se necesita para que funcione correctamente son:

Tabla 32. Condiciones de funcionamiento del purgador

Condiciones de funcionamiento y del entorno		
Descarga de condensado	Automática V	Automática, control eléctrico E2/E3/E4
Presión de funcionamiento (bar)	2...12	0.8...16
Ruido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2012(=:=:)	
Temperatura ambiente(°C)	*5=*60	*1...*60
Temperatura fluido(°C)	*5=*60	*1...*60
Temperatura de(°C) Almacenamiento	*5=*60	*1...*60
Clases de resistencia a la corrosión ¹	2	

Fuente: Catálogo de purgador FESTO.

Pistola de aire

La pistola seleccionada es de la marca FESTO la cual en la red tiene un caudal de 1,86 l/s (111,6 l/min) y tiene las siguientes características

La serie del equipo es LSP-1/4-D

Figura 46. Pistola de aire FESTO



Fuente: Catalogo de pistolas sopladoras de aire FESTO [12]

Los datos técnicos del equipo son los siguientes:

Tabla 33. Datos técnicos de la pistola de aire.

Datos técnicos generales	
Función del aire de escape	Chorro de aire dosificable
Conexión neumática	Rosca Interior G ¹ / ₄
Ruido	Aire comprimido filtrado, lubricado o sin lubricar
Presión de funcionamiento (bar)	0...10
Caudal nominal (l/min)	120 con 6 bar
Nivel de ruido (dB(A))	90 con 6 bar
Temperatura ambiente (°C)	-10...+50
Peso (g)	240

Fuente: Catalogo de pistolas sopladoras de aire FESTO [12]

CAPÍTULO IV

4. COSTOS Y MANTENIMIENTO

4.1 Costos

En este capítulo se dan a conocer los costos de los elementos empleados para la red neumática, así como los costos de su montaje. Cabe recalcar que los costos de los materiales descritos en el diseño varían de un día para el otro, por lo que el costo del diseño puede variar.

Los costos de la red de distribución se los realiza mediante proformas, que se obtienen de las diferentes almacenes que distribuyen equipos neumáticos y ferreterías de la ciudad de Riobamba y Quito desde los meses de abril – mayo del 2012, fecha en que se entregará todo el proyecto a la empresa.

Los principales costos que se consideran en el diseño de la red son:

Costos directos:

- Costo de material.
- Costo de mano de obra.
- Costo de equipos y herramientas.
- Costo de transporte.

Costos indirectos:

- Costo de diseño
- Costo imprevistos

A continuación se detallan los costos directos y los costos indirectos.

4.1.1 Costos directos

4.1.1.1 Costos de material. Son todos los costos de los elementos que se utilizan en el diseño de la red de aire comprimido, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 34. Costos de materia prima.

Descripción	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Total
Tubería 1 ½"	M	5.44	27	146.88
Tubería ¾"	M	4.45	6	26.70
Manguera	M	4.00	5	20.00
Codo 90° 1 ¼"	U	1.00	3	3.00
Codo 180° 1 ¼"	U	2.50	4	10.00
Te 1 ¼"	U	1.30	5	6.50
Racor acodado ¾"	U	3.50	4	14.00
Válvula esférica 1 ¼	U	9,25	1	9.25
Válvula esférica ¾	U	4.50	4	18,00
Horquilla de sujeción	U	2.00	10	20.00
Compresor Schulz	U	800.00	3	2400.00
Pistola de aire	U	60.00	1	60.00
Unidad de Mantenimiento	U	135.00	2	270.00
Purgador	U	120.00	2	240.00
Lijas de grano fino	U	0,5	4	2,00
Guaype	U	0,09	5	0,45
Guantes	U	5,00	2	10,00
Gafas	U	7,50	2	15,00
SUBTOTAL				3271.78
IVA				392.61
TOTAL				3664.39

Fuente: Autor

4.1.1.2 Costo de mano de obra. En los costos de la mano de obra se considera el valor del tiempo que cada empleado necesita para el montaje de la red de aire comprimido para la empresa.

A los trabajadores se pagará conforme a lo establecido por la ley, en base al salario del área del trabajador.

Tabla 35. Costo de la mano de obra.

Mano de obra	Categoría	Horas hombre	Salario Real/hora [USD]	Total [USD]
Técnico mecánico	C2	56	2,50	140,00
Ayudante de técnico mecánico	D2	56	2,00	112,00
Total				252,00

Fuente: Autor

4.1.1.3. Costo de equipos y herramientas. Dentro de los equipos y herramientas que se podrían utilizar en la red son los siguientes:

Tabla 36. Costos de equipos y herramientas.

Detalle	Periodo de trabajo [Hora]	Valor hora	total
Terraja	3	5,00	15,00
Cortadora de tubo	8	3,00	24,00
		SUBTOTAL	39,00
		IVA	4.68
		TOTAL	43.68

Fuente: Autor

Dentro de las herramientas manuales que se podrían utilizar en la implementación son:

Detalle	Periodo de trabajo [Hora]	Valor hora	total
Taladro de mano	3	2,5	7,50
Instrumentos de medida	10	0,40	4,00
		SUBTOTAL	11,50

Fuente: Autor

Ahora cabe recalcar que el costo de la utilización de las herramientas manuales no debe exceder el 5% del costo de la mano de obra.

Con lo que se tiene el costo de la mano de obra es de \$ 252,00 y el 5% y como vemos el valor está dentro del rango.

El total de los costos directos:

Tabla 37. Costo total directo

COSTOS DIRECTOS	
Materia Prima	3664.39
Mano de obra	252.00
Equipos y herramientas	55.15
TOTAL	3971.54

Fuente: Autor

4.1.2 Costos indirectos. Los costos indirectos son los costos no recuperables que se refieren a la preparación, y ensamblaje de las distintas partes.

4.1.2.1. Costos de diseño. Se emplea para el diseño un tiempo de 40 horas, de las cuales son 8 horas diarias que nos dan un total de 5 días.

Tabla 38. Costos de diseño.

Detalle	Periodo de trabajo [Hora]	Valor hora	total
Diseño	40	20	800
		TOTAL	800

Fuente: Autor

4.1.2.2. *Costos de imprevistos.* El costo de imprevistos se toma el 5% del costo total de la implementación de la red de distribución.

El total de los costos indirectos son:

Tabla 39. Total costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS	
Costo de diseño	800
imprevistos	5%
Total	800

Fuente: Autor

4.1.3. *Costo total de la red de aire comprimido.*

Tabla 40. Costo total de la red de aire comprimido

Detalle	Valor USD
3971.54	3971.54
Costo indirecto	800
Imprevistos	238,58
COSTO TOTAL	5010,15

Fuente: Autor

Para encontrar el punto de equilibrio de la instalación de la red:

Para empezar encontraremos la depreciación del costo total de la red, para lo cual se empieza sacando el valor de salvamento de la instalación de la red.

$$V_{\text{salvamento}} = V_{\text{inicial}} - \frac{V_{\text{inicial}} \times n}{N}$$

Dónde:

$V_{\text{salvamento}}$ = Valor de salvamento.

V_{inicial} = Valor inicial.

n = Tiempo de vida útil.

N = Tiempo de depreciación en años.

Ahora se ingresa los valores en la ecuación.

$$V_{\text{salvamento}} = 5010.15 - \frac{5010.15 \times 8}{10}$$

$$V_{\text{salvamento}} = 1002.15$$

Existen diversos modos de encontrar el valor de la depreciación, en este proyecto se determina con el método de la línea recta:

$$\text{Depreciacion periodica} = \frac{\text{Costo inicial} - V_{\text{salvamento}}}{\text{No. de periodos de vida}}$$

$$\text{Depreciacion periodica} = \frac{5010.15 - 1002.15}{10}$$

$$\text{Depreciacion periodica} = 400.8$$

Con este valor se puede calcular la tasa de la depreciación que viene dada por:

$$\text{Tasa de depreciacion} = \frac{\text{Depreciación}}{\text{Costo inicial}}$$

$$\text{Tasa de depreciacion} = \frac{400.8}{5010.15} = 8\%$$

Tabla 41. Depreciación del sistema

Año	Depreciación	Acumulada
1	400,8	400,8
2	400,8	801,6
3	400,8	1202,4
4	400,8	1603,2
5	400,8	2004
6	400,8	2404,8
7	400,8	2805,6
8	400,8	3206,4
9	400,8	3607,2
10	400,8	4008
TOTAL	4008	

Fuente: Autor

4.1.4. Calculo del VAN.El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, para encontrar este valor nos remitimos a los flujos de caja que la empresa tiene proyectado.

Tabla 42. Flujo de cajade la empresa SICARSA

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS	86400	90720	93441,6	96244,848	99132,193
COSTO DE PRODUCCION	8000	8400	8820	9261	9724,05
UTILIDAD BRUTA (VENTAS)	78400	82320	84621,6	86983,848	89408,143
GASTOS ADMINISTRATIVOS					15315,378
Sueldos	12600	13230	13891,5	14586,075	8
GASTOS DE VENTAS	1612	1562	1512	1462	1412
Publicidad	600	550	500	450	400
depreciación	1012	1012	1012	1012	1012
GASTOS GENERALES					
Materiales de oficina	192	199	206	213	220
Suministros de limpieza	120	126	132,3	138,915	145,86075
Suministros para servicios	600	630	693	762,3	838,53
Servicios básicos	1560	1638	1719,9	1805,895	1896,1897
total gastos generales	2472	2593	2751,2	2920,11	3100,5805
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	61716	64935	66466,9	68015,663	69580,184
15% EMPLEADOS	9257,4	9740,25	9970,035	10202,349	10437,027
UTILIDAD GRAVABLE	52458,6	55194,75	56496,86	57813,313	59143,156
IMPUESTOS	7056	7408,8	7615,944	7828,5463	8046,7329
UTILIDAD NETA	45402,6	47785,95	48880,92	49984,767	51096,423
FLUJO DE EFECTIVO	46414,6	48797,95	49892,92	50996,767	52108,423
			1	2	7

Para calcular el VAN es necesario conocer que la inversión de la empresa es \$ 5010.15 y se proyectan las ganancias para 5 años con lo que tenemos:

Tabla 43. V.A.N del proyecto

Periodos	Flujo efectivo	Flujo efectivo acumulado
0	-5.010,15	-5.010,15
1	46.414,60	41.404,45
2	48.797,95	90.202,40
3	49.892,92	140.095,32
4	50.996,77	191.092,09
5	52.108,42	243.200,51

Fuente: Autor

Con esta tabla se puede tener que V.A.N es de \$ 243.200.51 y al mismo tiempo se puede ver que la inversión se recupera al primer año (cambio de signo).

4.1.5. Calculo de la tasa interna de retorno (T.I.R). La tasa interna de retorno se la define como: la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje.

La Tasa Interna de Retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Para el cálculo se utiliza las siguiente ecuación:

$$TIR = i_2 + (i_2 - i_1) \left(\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right)$$

Se calcula los siguientes valores se calcula la tasa interna de retorno.

Tabla 44. T.I.R del proyecto

AÑO	FLUJO EFECTIVO	FACTOR 3%	FACTOR 4%	F.E.actualizado 3%	F.E.actualizado o acumulado 3%	F.E.actualizado o 4%	F.E.actualizado o acumulado 4%
0	-5.010,15	1,00	1,00	-5.010,15	-5.010,15	-5.010,15	-5.010,15
1	46.414,6	0,97	0,96	45.062,72	40.052,57	44.629,42	39.619,27
2	48.797,95	0,94	0,92	45.996,75	86.049,32	45.116,45	84.735,72
3	49.892,92	0,92	0,89	45.659,09	131.708,41	44.354,63	129.090,35
4	50.996,77	0,89	0,85	45.309,97	177.018,37	43.592,25	172.682,60
5	52.108,42	0,86	0,82	44.949,18	221.967,56	42.829,33	215.511,92
					VAN1		VAN2

Fuente: Autor

Ingresando los datos en la ecuación obtenemos:

$$TIR = i_2 + (i_2 - i_1) \left(\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right)$$

$$TIR = 4\% + (4\% - 3\%) \left(\frac{221967.56}{221967.56 - 215511.92} \right)$$

$$TIR = 38 \%$$

4.1.6. Punto de equilibrio. Al punto de equilibrio se lo define como el punto en donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto

4.1.6.1. Punto de equilibrio en unidades físicas. Se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CF}{PV - CVU}$$

Dónde:

Q = Cantidad vendida.

CF : Costos fijos (1012.3).

PV : Precio de venta (\$ 0.06).

CVU: Costo variable unitario (\$ 0.002).

Reemplazando los valores se tiene:

$$Q = \frac{1012.3}{0.06 - 0.002}$$

$$Q = 17484 U$$

4.1.6.2. Punto de equilibrio en unidades monetarias. Se realiza el punto de equilibrio para encontrarlo en unidades monetarias y se lo realiza mediante la siguiente fórmula:

$$I = PV \times \frac{CF}{PV - CVU}$$

Dónde:

Q = Cantidad vendida.

CF : Costos fijos (1012.3).

PV : Precio de venta (\$ 0.06).

CVU: Costo variable unitario (\$ 0.002).

Reemplazando los valores se tiene:

$$I = 0.06 \times \frac{1012.3}{0.06 - 0.002}$$

$$I = \$ 1049$$

4.2 Mantenimiento.

El mantenimiento de una red de aire comprimido no es anti-económico, sino que al revés, un mantenimiento bien llevado de representa ahorros energéticos que justifica por sí solo el gasto empleado en el mismo.

Al menos una vez al año se debe dar un mantenimiento profundo a la instalación: en la cual debe constar el compresor, equipos de tratamiento de aire, máquina envasadora, y demás elementos neumáticos.

Dentro de los diferentes tipos de mantenimiento se encuentran:

- **Mantenimiento preventivo:** Es el de inspeccionar el equipo antes de que se produzca la falla, con esto se tiene una vida útil máxima de los elementos inspeccionados.
- **Mantenimiento correctivo:** Basa su acción en la corrección de daños o fallas luego de que éstos se han producido. Este sistema se basa en la improvisación y representa el más alto costo para la industria.
- **Mantenimientos minorativo:** Presenta la alternativa de mejora, ya sea en el aspecto de diseño de una pieza, incluyendo el uso de un material de mejor calidad y resistencia o ya sea en las nuevas condiciones en que se haría funcionar la pieza o la máquina hablando en forma global. [13]

- Mantenimiento predictivo: Es el de establecer si ha sucedido cualquier cambio en las condiciones físicas, este tipo de mantenimiento detecta vibración, sonido, temperatura, presión, desgaste, alineamiento, corrosión.

4.2.1. Mantenimiento preventivo.El mantenimiento preventivo se somete a las partes de la instalación más importantes descritas en la configuración de la red como son:

- Compresores.
- Unidades de mantenimiento.
- Equipos de consumo.
- Red de aire comprimido

4.2.1.1. Compresores.Al ser el eje vital de toda la instalación de aire comprimido se le debe prestar la mayor atención posible para que su vida útil sea prolongada.

El mantenimiento en un compresor deben ser cada cierta cantidad de horas de trabajo, pero también se necesita revisar periódicamente o al menos dos veces al año los complementos del mismo como son:

- La válvula de seguridad.
- Aceite del compresor
- Manómetros
- Sistema de transmisión
- Filtro de Aspiración

a) La válvula de seguridad:

Se debe revisar por lo menos una vez al año, ya que al no funcionar adecuadamente puede ocasionar accidentes con consecuencias fatales tanto a la empresa como al personal, ya que la sobre presión en el tanque de acumulación se libera por la misma cuando el presostatoa dejado de funcionar, esto indica que se debe cambiar inmediatamente por el personal autorizado del mantenimiento del compresor.

b) Aceite del compresor

El nivel de aceite del compresor se debe revisar cada número ciertas de horas de trabajo del equipo, ya que al tener elementos rotativos y como se lo explico anterior mente este aceite es introducido junto con el aire que se comprime.

Se debe cambiar aproximadamente cada 800 horas de trabajo, para su reposición se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Sin presión en el circuito aliviando los elementos bajo presión y cortado el suministro eléctrico, soltar el tapón del depósito.
- Vaciar el lubricante usado. Verificar que no existen cascarillas metálicas ni suciedad.
- Apretar correctamente todos los tapones de vaciado, y llenar el depósito hasta el nivel máximo. Colocar y apretar el tapón de llenado.
- Poner aceite hasta un nivel entre el MAXIMO y el MINIMO.
- Colocar y apretar el tapón de llenado.
- Verificar que los aprietes son correctos y no hay fugas.

c) Manómetros

Los manómetros se deben revisar una vez al año, sobre todo su constitución interna para su correcto funcionamiento.

d) Sistema de transmisión

En el sistema de transmisión se debe revisar el estado de sus poleas y bandas, ya que el desgaste o mal funcionamiento de estos elementos puede llevar a la unidad compresora a un mal funcionamiento, y dañando al compresor y al motor eléctrico, llevando a costosas reparaciones y por ende perjudicando a la producción de la empresa.

e) Filtro de aspiración

Es esencial, en la duración del compresor, que entre la menor cantidad de partículas extrañas a los rotores, y por lo tanto la mejor protección contra el desgaste que puede producir el polvo. Todo ello se consigue manteniendo en perfecto estado el elemento

filtrante del aire de aspiración, revisando, limpiando y renovando el cartucho con una periodicidad que dependerá de las condiciones y el ambiente de trabajo de la máquina.

A la hora de realizar la limpieza del mismo, extraer el cartucho filtrante del interior de la carcasa del filtro y golpear sus caras extremas suavemente contra una superficie plana.

4.2.1.2. *Unidades de mantenimiento.* Cada dos meses se hace una revisión de las unidades de mantenimiento de aire instaladas en los puntos de consumo. En esta revisión se subsanan fugas, se comprueba la correcta regulación de la presión, se comprueba / recibe los depósitos de aceite de engrase en aquellas aplicaciones en las que es necesario y se comprueba el funcionamiento de las purgas automáticas.

Figura 47. Unidad de mantenimiento



Fuente: Sistema producción aire comprimido [5]

4.2.1.3. *Unidades de consumo.* La mayor parte de herramientas y equipos neumáticos utilizados en el diseño de esta instalación están constituidos para obtener el máximo rendimiento a una presión de los 6 a 7 bar.

Se debe dar un mantenimiento continuo antes y después de su utilización (ya que sus componentes pueden sufrir desgastes), para garantizar el uso eficiente de las herramientas y la optimización del aire

a) Red de distribución de aire comprimido

Cuando existe un incremento del consumo de energía eléctrica y/o desgastes prematuros en las piezas, son síntomas que pregonan el estado deficiente de la instalación, es por ello que se debe dar un correcto mantenimiento examinando lo siguiente:

- a) Que la tubería este mal dimensionada para el consumo actual.
- b) Presenta fugas de aire.
- c) El compresor es incorrecto o está en mal funcionamiento.

SOLUCIONES:

- a) Se deben revisar los consumos de los equipos de la empresa, los cuales serán multiplicados por el coeficiente de simultaneidad respectivo, a su longitud le añadiremos los metros equivalentes por accesorios.

Después de esto seleccionaremos el diámetro correcto y podremos comprobar si el diámetro es el adecuado; si es el adecuado y continua dando fallas es necesario reemplazarlo por otro, a la larga devolverá en beneficios la inversión efectuada.

- b) Se debe realizar una revisión exhaustiva de la red, de los accesorios y sus conexiones para revisar que no exista fugas a los mismos se los deberá inspeccionar de manera regular y en intervalos cortos para verificar la estanqueidad.
- c) Una vez revisados a y b es indudable que el compresor necesita ser sustituido por uno que cumpla los requerimientos específicos de la red.

Cada seis meses se comprueba el correcto funcionamiento de los elementos mencionados y los días de parada de producción también se hace una revisión de las conducciones por si se puede apreciar algún tipo de fugas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se cumplió con el objetivo principal de este proyecto que era el de diseñar una red de distribución de aire comprimido para la empresa SICARSA.

El consumo de aire en la red de aire comprimido de la empresa SICARSA es de 23.73 L/s a una presión de 7 bar, con lo cual se debe garantizar esta cantidad para el correcto funcionamiento.

Se ha dimensionado las tuberías de forma que en las mismas involucren las pérdidas de presión producidas en la red, para que la cantidad de aire suministrada a las máquinas sea el adecuado.

Se ha considerado también las futuras expansiones que puede tener la fábrica. Con lo cual puede asegurarse que la red cumplirá su función.

Se ha dotado a la red de un par purgadores con la finalidad de recoger el condensado que puede producir la red, ya que si no se lo hace puede producir a la máquina envasadora y elementos neumáticos graves daños.

Al elegir una red del tipo abierta se sabe a ciencia cierta la dirección del flujo del aire con lo cual no se corre el riesgo de que el aire comprimido ingrese en la dirección errónea a la máquina envasadora y a sus elementos.

El dimensionamiento del depósito de aire se lo realiza teniendo en consideración el consumo total de la planta y al pérdida de presión en el momento de encender los equipos neumáticos, y es de 1.2 m³.

Se determina la utilización de 3 compresores, los cuales están montados “2+1”, es decir, dos están en funcionamiento paralelamente y uno en espera.

5.2 Recomendaciones.

Se recomienda que se ubique los compresores en un lugar adecuado, libre de polvos y adecuadamente ventilados, así como alejado del área de producción ya que la contaminación auditiva puede afectar a los empleados.

Para diseñar una red de aire comprimido se debe conocer los conceptos de neumática y los criterios necesarios para no afectar la producción de la empresa.

Para red de tipo abierta se recomienda que tenga una inclinación de 1 al 3% en la dirección del aire, para que la evacuación del condensado, al final del recorrido del aire se debe poner de purgadores para recolectar el condensado.

Para diseñar una red es necesario hacerlo de acuerdo al espacio de la fábrica, a la capacidad del compresor y el consumo.

Se recomienda tener un plan de mantenimiento para la red, ya que el no tener un adecuado mantenimiento se puede acortar la vida útil de la red y perder la inversión de los equipos.

El control de fugas se lo debe realizar periódicamente, porque si bien el aire comprimido es una forma de energía difundida ampliamente, el costo de producción del aire es alto, y al sumar las fugas al final del año es una pérdida de dinero y de energía.

Se debe tratar el aire en los puntos de consumo con unidades de mantenimiento provistas de filtro, regulador de presión y lubricador, con lo cual se logra una calidad alta de aire.

La instalación debe estar bien sujeta en el lugar donde se lo va a colocar, ya que este tipo de red son aéreas y una caída de la red sería de fatales consecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hesse, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”, byFesto AG y Co.
- [2] SERRANO, Nicolás, (2004), “Neumática”, Thompson.
- [3] Manual de Seguridad en el Trabajo, IESS, pág. 23.
- [4] <http://www.boge.com>
- [5] <http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Sistema-Produccion-Transporte-Aire-Comprimido>
- [6] CARNICER, E., (1990), “Aire Comprimido”. Ed. Paraninfo, Madrid.
- [7] Zabala N. Gilberto, "Termodinámica". Segunda edición.
- [8] **CARNICER R. ENRIQUE.** Sistemas industriales accionados por aire comprimido Segunda edición. Madrid: Paraninfo. España. 1997
- [9] http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redesdeaire.shtml#_Toc5
- [10] <http://marcelocassani.wordpress.com/2011/02/02/disenoinstalacionesdeaire/>
- [11] Catálogo de unidad de mantenimiento FESTO.
- [12] Catalogo de pistolas sopladoras de aire FESTO.
- [13] Cuadrado Edwin, "Mantenimiento Industrial".

BIBLIOGRAFÍA

CARNICER R. ENRIQUE. Sistemas industriales accionados por aire comprimido, Segunda edición. Madrid: Paraninfo. España. 1997

DEPERTW. Aplicaciones de la neumática, Primera edición. Bogotá: Alfaomega. Colombia. 2001.

SERRANO, Nicolás, “Neumática”, Segunda edición. Madrid: Thompson. 2004

HEESE, Stefan., (2002), “Aire Comprimido Fuente de Energía”, byFesto AG y Co.

ROLDÁN V. JOSÉ. NEUMÁTICA, HIDRAULICA Y ELECTRICIDAD APLICADA, 10ma ed. Madrid: Thompson paraninfo. 2005.

LARBURU A. Nicolás, Prontuario de Máquinas. Editorial: Paraninfo, 2001. Décimo tercera edición.

REJANO DE LA ROSA. Manual. Ruido Industrial y Urbano. Editorial: Paraninfo, 2000.

MUÑOZ G. Jorge. Mantenimiento y mejoras en instalaciones de aire comprimido en plantas industriales. Septiembre 2010.

LINKOGRAFÍA

REDES DE AIRE COMPRIMIDO

http://www.guillesime.galeon.com/index_archivos/Page872.htm

2011-07-12

AHORRO DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.ayrful.com.ar/eficiencia.htm>

2010-08-15

SISTEMA DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/dobrazil/lang/es/home/TechnicalCenter/CompressedAirPipeSystem>

2012-05-22

FUGAS EN RED DE AIRE COMPRIMIDO

<http://es.scribd.com/doc/18603567/9Redes-de-tuberias>

2012-01-13

NEUMÁTICA

<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4.htm>

2010-08-01

AIRE COMPRIMIDO

<http://www.elhinel.com.ar/micro-pdf/28-redes-de-aire-comprimido.pdf>

2012-04-21

TIPOS DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml>

2011-08-25

DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.cohimar.com/util/neumatica/neumatica4.html>

2011-11-27

PÉRDIDA DE PRESION EN ACCESORIOS

http://mx.kaeser.com/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/default.asp

2012-05-13

COSTOS DEL AIRE COMPRIMIDO

<http://www.ayrful.com.ar/tablas.htm>

2012-02-24

CATÁLOGOS FESTO

<http://www.festo.com/catalogue>

2012-05-22

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.proyectosfindecarrera.com/mantenimiento-aire-comprimido.htm>

2012-05-30

EFICIENCIA ENERGETICA EN INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

http://todoproductividad.blogspot.com/2011/04/eficiencia-energetica-en-instalaciones_14.html

2012-04-18

AHORRO DE ENERGIA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/aire.pdf>

2012-03-29

TASA INTERNA DE RETORNO

<http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/25/tiri.htm>

2011-12-01

PUNTO DE EQUILIBRIO

<http://es.scribd.com/doc/51773227/Punto-de-Equilibrio-Conceptos>

2012-06-01

TABLAS DE SALARIOS SECTORIALES 2012

<http://www.correolegal.com.ec/docs/noticias/sro618.pdf>

2012-05-23