

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA UNA
FÁBRICA DE PRODUCTOS DE PAREDES PREFABRICADAS”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

ANDRÉS RICARDO YAULEMA SUQUILANDA

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, a mis padres Isaías y Margarita, quienes han sido un apoyo económico y moral para lograr este fin. A mi esposa y a mi hijo por el apoyo incondicional .A mi directiva de tesis por su tiempo y paciencia dedicada en mí.

DEDICATORIA

A tu paciencia y comprensión,
preferiste sacrificar tu tiempo para
que yo pudiera cumplir con el mío.
Por tu bondad, cariño y sacrificio
me inspiraste a ser mejor para tí,
ahora puedo decir que esta tesis
lleva mucho de tí, gracias por estar
siempre a mi lado, Lady.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

"La responsabilidad del contenido desarrollado en

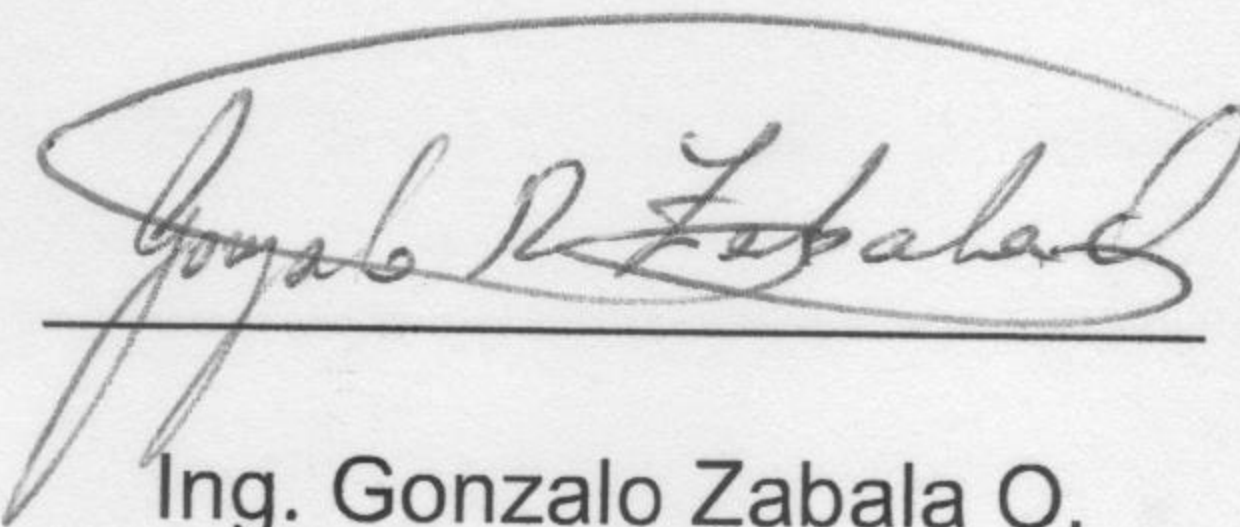
el presente Trabajo Final de Graduación

recae exclusivamente, y en forma


exclusiva, del mismo a la ESCUELA

DE INGENIERÍA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Ing. Gonzalo Zabala O.
VOCAL



Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



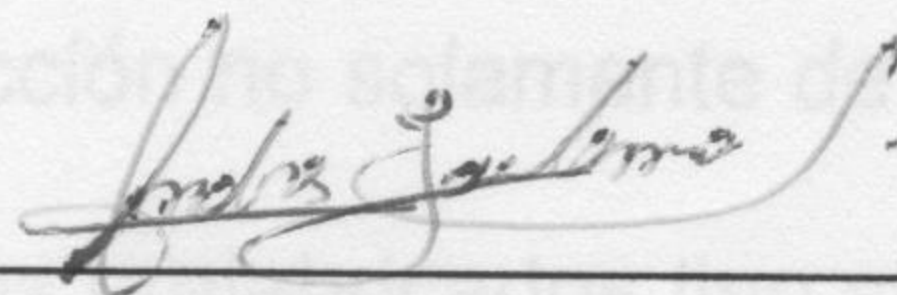
Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TFG

Andrés Ricardo Yaulema Suquilanda

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Andrés Ricardo Yaulema Suquilanda

RESUMEN

Debido al gran problema que tiene el Ecuador actualmente con el déficit de viviendas, y el tiempo que tardan las empresas constructoras de viviendas en entregar una casa totalmente terminada, entonces los fabricantes de viviendas han optado en implementar técnicas modernas y eficientes, para la construcción de las mismas por medio de paredes prefabricadas, con las cuales son capaces de construir casas modernas, económicas y confortables.

Debido a la demanda de construcciones de estas viviendas, una empresa instalada en Durán desde el 2011, dedicada a la fabricación y venta de productos prefabricados de paredes tipo sándwich compuesto de tres capas (alambre de acero –capa central de poliuretano - alambre de acero) de 50mm de espesor , ha decidido expandir sus productos instalando una nueva sección en la planta actual, la cual ofrecerá la construcción no solamente de paredes prefabricados tipo sándwich, sino también pisos prefabricados tipo sándwich, cuyos espesores de estos dos productos estarán comprendido desde 40m hasta 170 mm.

La producción de estos productos se lo realizará por medio de: 6 máquinas enmalladoras, 4 silos de productos de espuma de poliuretano, una máquina

de producción de bloques de espuma de poliuretano y los puntos de mantenimiento, y la operación de estos nuevos equipos se lo realizará mediante un sistema de aire comprimido.

En el presente proyecto de graduación tiene como objetivo realizar el diseño de un sistema de aire comprimido, el cual se determinará tanto la red como equipos y accesorios, así como también el análisis de la utilidad de los compresores existentes para la nueva línea, que requiere la planta para la fabricación de las paredes y pisos de poliuretano con los nuevos espesores, el cual cumplirá con la normas pertinentes y que su operación sea eficiente garantizando el crecimiento de la producción.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vi
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICES DE FIGURAS.....	x
ÍNDICES DE TABLAS.....	xii
ÍNDICES DE PLANOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1.-Generalidades.....	2
1.1.-Objetivo del proyecto.....	2
1.2.-Descripción del sistema actual.....	3
1.3.-Definición del problema.....	4
CAPÍTULO 2	
2.-Diseño del sistema de aire comprimido.....	6
2.1.- Determinación de la demanda requerida de aire comprimido.....	6
2.2.-Diseño de trayectoria de la tubería del sistema.....	17
2.3.- Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones.....	22
2.4.- Dimensionamiento del depósito.....	28

CAPÍTULO 3

3.-Selección de elementos del sistema.....	36
3.1.-Selección de accesorios del sistema.....	38
3.2.-Selección del secador de aire comprimido.....	55
3.3.-Selección del separador de aceite y de agua.....	65
3.4.-Selección de filtros.....	66
3.5.-Selección del compresor.....	71

CAPÍTULO 4

4.- Análisis económico de un sistema de aire comprimido.....	82
4.1.-Costo de material.....	84
4.2.-Costos de mano de obra.....	86
4.3.-Costo de metro cúbico de aire comprimido producido.....	90

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones y recomendaciones.....	94
---	----

Apéndices.

Bibliografías

ABREVIATURAS

AWS	American Welding Society .
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
ASTM	American Society of Testing and Materials.
barg	Unidad de presión manométrica.
CFM	Pie cúbicos por minuto.
psi	Presión en libra sobre pulgada cuadrada.
m ³	Metros cúbicos.
h	Horas.
seg	Segundo.
Q.T.Op	Caudal total de operación.
lt	Litro.
Min	Minuto.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
L.total	Longitud total.
Psal	Presión de salida del compresor
In	Pulgada.
m	Metro.
mm	Milímetro.
SCFM	Pies cúbicos por minuto estándar.
°C	Grados Centígrados
Kp	Factor de corrección con respecto a la presión de entrada.

Kte	Factor de corrección de temperatura del aire comprimido a la entrada.
Kta	Factor de corrección de temperatura ambiente.
Kw	Kilo-watt.
mg	Miligramo.
L	Longitud.
CO	Monóxido de carbono.
O ₂	Oxígeno.
G.L.P	Gas licuado del petróleo.
CO ₂	Dióxido de carbono.
D.T	Días de trabajo del equipo.
H.T	Horas de trabajo.
FAD	Free air delivery (Entrega de Aire Libre).
Bar	Unidad de presión.
°F	Grado Fahrenheit.

SIMBOLOGÍA

ΔP	Diferencia de presión.
\$	Dólar Americano.
VDep	Volumen del depósito.
p1	Presión del entorno.
Zs	Frecuencia de conexión en h ⁻¹ .
P.desc	Presión de descarga.
P.admis	Presión de admisión.
\$C.E	Costo del consumo de energía.
\$D	Costo de depreciación.
\$M	Costo de mantenimiento.
m ³ /s	metro cubico por segundo.
D	Diámetro.
Q	Caudal.
v	Velocidad.
e	Espesor.
Psal	Presión de salida del compresor.
m ³ /min	Metros cúbicos por minuto.
m ³ / h	Metros cúbicos por hora.
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo.
µm	Micras
Q _t	Caudal de trabajo.
Q	Caudal total.
fs	Factor de simultaneidad.

fu	Factor de uso.
p1	Presión del entorno.
Vef	Caudal de demanda.
%	Porcentaje.
\$/d	Costo unitario por día.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Layout de distribución de los equipos.....	4
Figura 2.1 Red abierta de un circuito para aire comprimido.....	18
Figura 2.2 Red de aire cerrada.....	19
Figura 2.3 Ejemplo de nomograma para caída de presión.....	24
Figura 2.4 Nomograma – Determinación de depósito de aire comprimido..	33
Figura 3.1 Componentes de una red de aire comprimido.....	40
Figura 3.2 Válvula para purga del condensado.....	41
Figura 3.3 Válvula de alivio.....	42
Figura 3.4 Válvulas esféricas.....	44
Figura 3.5 Regulador de presión.....	46
Figura 3.6 Bosquejo de conexiones para una buena calidad del aire comprimido.....	51
Figura 3.7 Métodos de secado del aire.....	56
Figura 3.8 Refrigerador posterior.....	57
Figura 3.9 Curvas comparativas de refrigerador posterior.....	59
Figura 3.10 Secado por absorción.....	60
Figura 3.11 Secador de membrana.....	61
Figura 3.12 Clasificación de los compresores.....	72
Figura 3.13 Compresor de paletas.....	73
Figura 3.14 Compresor de tornillo.....	74

Figura 3.15 Compresor de tornillo.....	75
Figura 3.16 Tipos de compresores según el número de lóbulos.....	76
Figura 3.17 Desplazamiento del aire.....	77
Figura 3.18 Compresor centrifugo.....	78
Figura 4.1 Circulo porcentual.....	83
Figura 4.2 Programación de actividades.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Demanda de aire comprimido de los equipos.....	7
Tabla 2.2 Demanda total de equipos y consumo en el sistema.....	7
Tabla 2.3 Tabla de factor de simultaneidad.....	8
Tabla 2.4 Demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 1.....	11
Tabla 2.5 Demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 2.....	13
Tabla 2.6 Demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 3.....	14
Tabla 2.7 Demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 4.....	16
Tabla 2.8 Tabla de demanda de caudales totales de operación por circuito.....	17
Tabla 2.9 Tabla normalizada comercial para tuberías metálicas.....	37
Tabla 2.10 Caudal de demanda por líneas.....	32
Tabla 2.11 Caudal de demanda de aire por líneas.....	35
Tabla 3.1 Dimensión de válvulas de alivio marca Apollo Valves.....	42
Tabla 3.2 Capacidades de presiones de las válvulas de alivio marca Apollo.	43
Tabla 3.3 Características técnica de válvula tipo esfera.....	45
Tabla 3.4 Datos técnicos de filtro regulador.....	47
Tabla 3.5 Número de derivaciones en la red de aire comprimido.....	49
Tabla 3.6 Cantidad de saturación del aire con respecto a la temperatura.	56
Tabla 3.7 Características técnicas de los secadores Kaeser.....	64
Tabla 3.8 Contenido de aceite en el aire comprimido según su clase.....	66

Tabla 3.9	Tabla de calidad de aire comprimido según su aplicación.....	69
Tabla 3.10	Características técnica de filtro de aire.....	71
Tabla 3.11	Perdidas de presión de componentes.....	79
Tabla 3.12	Datos de presión y caudal en la planta.....	79
Tabla 3.13	Tabla de resultados de la presión de trabajo.....	80
Tabla 3.14	Tabla de características técnicas de compresor Kaeser.....	81
Tabla 4.1	Presupuesto de materiales.....	85
Tabla 4.2	Presupuesto de mantenimiento.....	87
Tabla 4.3	Gastos de mano de obra directa.....	88
Tabla 4.4	Gastos operativos.....	88
Tabla 4.5	Costos de equipos.....	89
Tabla 4.6	Tabla de depreciación.....	89
Tabla 4.7	Consumo energético.....	90
Tabla 4.8	Tabla de resumen de costos.....	92
Tabla 4.9	Tabla de resumen de inversión.....	92

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Isometrico del diseño de trayectoria.

INTRODUCCIÓN

El sistema de aire comprimido es un proceso, el cual se encarga de aprovechar el aire del medio ambiente, el cual a través de un compresor eleva la presión con ayuda de un tanque pulmón. A este aire que es comprimido hay que mejorarle su calidad para poderlo utilizar en equipos neumáticos, la cual realizará a través de filtros, con el objetivo de obtener una excelente calidad de aire deseado.

El sistema de red de aire comprimido que se va a diseñar tendrá que abastecer los siguientes consumidores: 6 Máquinas enmalladoras, 4 Silos de productos de espuma de poliuretano, una máquina de producción de bloques de espuma de poliuretano y en los puntos de mantenimiento.

Para determinar la demanda del sistema de aire comprimido, se tomó los consumos de los m^3/min (CFM) de cada equipo, presiones de consumos, los puntos de mantenimiento, longitudes de tuberías y accesorios de conexiones neumáticas, para lo cual se obtuvo como resultado la selección de 4 compresores de sobre presión operativa de 10 bares, con un rango de caudal de operación de 1,90-8,95 m^3/min abasteciendo a 4 circuitos tipo argolla (un compresor por cada circuito), con sus respectivos filtros, dimensión de tuberías, tanque pulmón determinando el costo / m^3 .

CAPÍTULO 1

1.- Generalidades.

1.1.- Objetivo del proyecto.

Diseñar un sistema de aire comprimido eficiente cuya demanda este proyectado al crecimiento de la empresa y que cumpla con todas las normas pertinentes, para lo cual se debe considerar los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los parámetros de requerimiento técnicos de la red de distribución de aire comprimido.
- Realizar un análisis técnico / económico y seleccionar la alternativa más idónea.
- Diseñar la alternativa seleccionada utilizando Normas nacionales e internacionales.
- Realizar un estudio económico.

- Elaborar planos de distribución, planos isométricos y de detalles además del presupuesto para la implementación del sistema diseñado

1.2.-Descripción del sistema actual.

El sistema actual de aire comprimido consta de 4 compresores con equipos conexos como post enfriadores y secadores, los cuales no están instalados junto a una red de tubería tipo abierta no operativa de 1" de diámetro. Esta tubería está obsoleta debido al grado de corrosión, por lo cual no será factible utilizarla y deberá ser desinstalada.

El sistema de red de aire comprimido que se va a diseñar tendrá que abastecer los siguientes consumidores:

- 6 Máquinas enmalladoras.
- 4 Silos de productos de espuma de poliuretano.
- Una máquina de producción de bloques de espuma de poliuretano y en los puntos de mantenimiento.

Las máquinas enmalladoras se encontrarán distribuidas en un área, en el cual se instalarán tres líneas, y cada una de estas líneas tendrán una máquina enmalladora por cada lado, las cuales estarán ubicadas de acuerdo a las dimensiones del producto a entregar. En otra área estarán ubicados 4 silos de almacenamiento de poliuretano al granel y junto a esta área estará ubicada una máquina para la preparación de bloques de espuma de poliuretano.

Previo al diseño del sistema de aire comprimido se realizará una distribución de los equipos y puntos de mantenimientos, tomando en

cuenta las zonas de seguridad, redes existentes, zonas de mantenimiento y de tránsito, para evitar tiempos de paradas innecesarios en periodos de mantenimiento y de evacuación por accidentes, como se muestra en la figura 1.1.

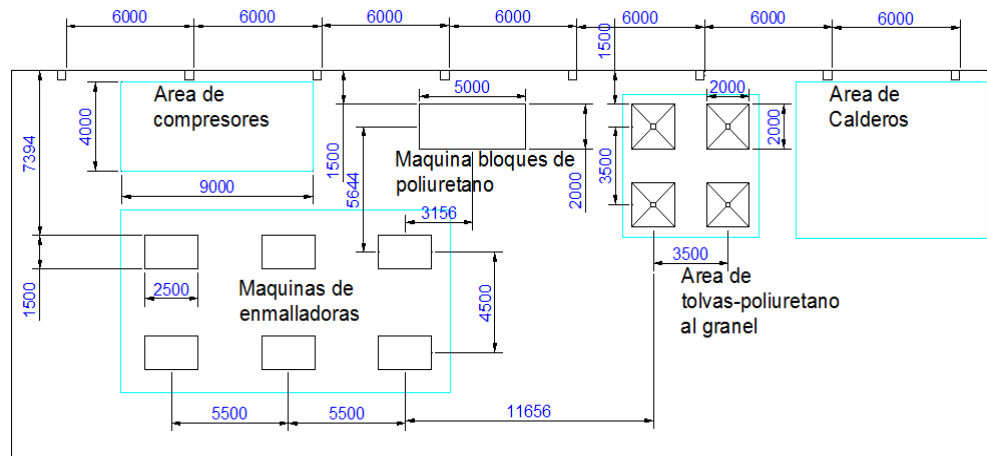


Figura 1.1 Layout de distribución de los equipos.

1.3.-Definición del problema.

La red del sistema de aire comprimido actual, es una red obsoleta que nunca se ha utilizado por lo que no cuenta con el depósito ni accesorios (como filtros, unidades de mantenimientos, manómetros, accesorios del sistema) y tubería de alimentación hacia las maquinarias, ya que cuando se construyó, se tenía otro propósito muy diferente a los que se tiene ahora la empresa.

Por lo tanto , se debe diseñar un sistema de aire comprimido que cumpla con las normas pertinentes para que su operación sea eficiente y económico , el cual se determinará tanto la red como equipos y accesorios,

así como también el análisis de la utilidad de los compresores existentes en función de los requerimientos de la planta.

CAPÍTULO 2

2.-Diseño del sistema de aire comprimido.

2.1.- Determinación de la demanda requerida de aire comprimido.

Para determinar la demanda requerida de aire comprimido de cada equipo se revisan los catálogos y/o manuales de cada uno de ellos, además se considera un margen de seguridad para fugas y para las instalaciones de incremento de nuevos equipos a futuro, por lo que la sumatoria total se considera como la demanda pico y sus unidades son en pie^3/min (CFM).

Para este sistema propuesto, se requiere de una proyección del abastecimiento de aire comprimido, para de esta manera verificar si la capacidad de los compresores existentes es la adecuada.

Cada equipo, anteriormente mencionado, requiere un flujo determinado de aire, este valor es generalmente dado por el fabricante lo cual se señala en los catálogos y/o manuales.

A continuación se muestra la Tabla 2.1, donde detalla la demanda de aire comprimido de cada equipo de la planta.

Tabla 2.1 Demanda de aire comprimido de los equipos

MAQUINARIA	CONSUMO (CFM)	PRESIÓN EN PSI	% DE USO
MAQUINA DE BLOQUES POLIURETANO	160	80-100	75%
ENMALLADORA	130	80-100	75%
PUNTO DE MANTENIMIENTO	18	80-100	25%
SISTEMA DE TOLVAS	80	80-100	75%

En la Tabla 2.2 se presenta la demanda total de los equipos y consumo en el sistema de aire comprimido para la red a diseñar.

Tabla 2.2 Demanda total de equipos y consumo en el sistema.

MAQUINARIA	CANTIDAD DE EQUIPOS (Unidad)	CONSUMO TOTAL (CFM)	CONSUMO TOTAL (m³/ h)
MAQUINA DE BLOQUES POLIURETANO	1	160	271,84
ENMALLADORA	6	780	1325,22
PUNTO DE MANTENIMIENTO	11	198	214,07
SISTEMA DE TOLVAS	4	320	543,68
TOTAL :	22	1458	2354,81

La demanda de aire comprimido depende del requerimiento de caudal de los equipos, puntos de servicios y de su período de aplicación, lo cual se representa por el factor de simultaneidad (fs) y el factor de uso (fu).

El factor de simultaneidad se lo define como el porcentaje del tiempo de operación de las máquinas del mismo tipo, este factor es un valor empírico como se aprecia en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tabla de factor de simultaneidad

Nº de herramientas	Factor de simultaneidad
0	1
10	0,7
20	0,6
30	0,55
40	0,5
50	0,475
60	0,45
70	0,425

Fuente [14]

El factor de uso se lo define como el porcentaje de tiempo que corresponde a cada máquina o punto de servicio en un periodo de tiempo de 24 horas. Por lo tanto, el caudal o demanda de trabajo es la suma de todos los caudales multiplicados por el factor de uso y el factor de simultaneidad, presentados en la ecuación (2.1).

$$Q_t = \sum(Q * fs * fu) \quad (2.1)$$

Donde:

Q_t : Caudal de trabajo.

Q: Caudal total.

fs: Factor de simultaneidad.

fu: Factor de uso.

Entonces, utilizando la ecuación 2.1 se procederá a determinar las demandas de caudales del aire comprimido para cada circuito de la red.

Demanda de caudal en circuito 1:

$$Q_t = \sum (Q * fs * fu)$$

Equipo: Maquina de bloque de poliuretano

Cantidad de equipo: 1

fs: 1

fu:0,75

Q : 150 CFM

$$Q_{t1} = 150 * 1 * 0,75$$

$$Q_{t1} \quad 120 \text{ CFM}$$

Equipo: Puntos de mantenimientos

Cantidad de equipo: 5

fs: 0,83

fu:0,25

Q : 18 CFM

$$Q_{t2} = 18 * 0,83 * 0,25$$

$$Q_{t2} = 3,74 * 5$$

$$Q_{t2} = 18,68 \text{ CFM}$$

Equipo: Sistemas de tolvas.

Cantidad de equipo: 1

fs: 1

fu:0,75

Q : 80 CFM

$$Q_{t3} = 80 * 1 * 0,75$$

$$Q_{t3} = 3,74 * 5$$

$$Q_{t3} = 60 \text{ CFM}$$

En donde Q total para el circuito 1 se lo determinará de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{t2} + Q_{t3}$$

$$Q_t = 112,5 + 18,68 + 60$$

$$Q_t = 191,18 \text{ CFM.}$$

En la Tabla 2.4 se muestra los valores de demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 1.

Tabla 2.4 Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 1

DEMANDA DEL CAUDAL DE AIRE COMPRIMIDO EN EL CIRCUITO 1							
DESCRIPCIÓN	CONSUMO EN CFM	CANTIDAD	fs	fu	CAUDAL (CFM)	CAUDAL (M ³ /H)	CAUDAL (M ³ /S)
MAQUINA DE BLOQUES POLIURETANO	150	1	1	0,75	112,5	187,76	0,053
PUNTOS DE MANTENIMIENTOS	18	5	0,83	0,25	18,68	31,18	0,009
SISTEMA DE TOLVAS	80	1	1	0,75	60	100,14	0,028
CONSUMO TOTAL CAUDAL :					191,18	319,08	0,090

Demanda de caudal en circuito 2:

Equipo: Maquina enmalladora

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu: 0,75

Q: 130 CFM

$$Q_{t1} = 130 * 0,94 * 0,75$$

$$Q_{t1} = 91,65 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} = 91,65 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} = 183,3 \text{ CFM}$$

Equipo: Punto de mantenimientos

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu:0,25

Q : 18 CFM

$$Q_{t2} = 18 * 0,94 * 0,25$$

$$Q_{t2} = 4,23 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} = 4,23 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} = 8,46 \text{ CFM}$$

En donde Q total para el circuito 2 se evalúa de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{t2}$$

$$Q_t = 183,3 + 8,46$$

$$Q_t = 191,76 \text{ CFM}$$

En la Tabla 2.5 se muestra los valores de demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 2.

Tabla 2.5 Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 2

DEMANDA DEL CAUDAL DE AIRE COMPRIMIDO EN EL CIRCUITO 2							
DESCRIPCIÓN	CONSUMO EN CFM	CANTIDAD	fs	fu	CAUDAL (CFM)	CAUDAL (m³/h)	CAUDAL (m³/s)
ENMALLADORA	130	2	0,94	0,75	183,3	305,93	0,086
PUNTO DE MANTENIMIENTO	18	2	0,94	0,25	8,46	14,12	0,004
CONSUMO TOTAL CAUDAL :					191,76	320,05	0,090

Demanda de caudal en circuito 3:

Equipo: Maquina enmalladora

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu:0,75

Q : 130 CFM

$$Q_{t1} = 130 * 0,94 * 0,75$$

$$Q_{t1} \quad 91,65 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} \quad 91,65 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} \quad 183,3 \text{ CFM}$$

Equipo: Punto de mantenimientos

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu:0,25

Q : 18 CFM

$$Q_{t2} 18 * 0,94 * 0,25$$

$$Q_{t2} 4,23 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} 4,23 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} 8,46 \text{ CFM}$$

En donde Q total para el circuito 3 se lo determinará de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{t2}$$

$$Q_t = 183,3 + 8,46$$

$$Q_t = 191,76 \text{ CFM.}$$

En la Tabla 2.6 se muestra los valores de demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 3.

Tabla 2.6 Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 3

Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 3							
DESCRIPCIÓN	CONSUMO EN CFM	CANTIDAD	fs	fu	CAUDAL (CFM)	CAUDAL (M ³ /H)	CAUDAL (M ³ /S)
ENMALLADORA	130	2	0,94	0,75	183,3	305,93	0,086
PUNTO DE MANTENIMIENTO	18	2	0,94	0,25	8,46	14,12	0,004
CONSUMO TOTAL CAUDAL					191,76	320,05	0,090

Demanda de caudal en circuito 4:

Equipo: Maquina enmalladora

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu:0,75

Q : 130 CFM

$$Q_{t1} = 130 * 0,94 * 0,75$$

$$Q_{t1} \quad 91,65 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} \quad 91,65 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t1} \quad 183,3 \text{ CFM}$$

Equipo: Punto de mantenimientos

Cantidad de equipo: 2

fs: 0,94

fu:0,25

Q : 18 CFM

$$Q_{t2} = 18 * 0,94 * 0,25$$

$$Q_{t2} \quad 4,23 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} \quad 4,23 * 2 \text{ CFM}$$

$$Q_{t2} \quad 8,46 \text{ CFM}$$

En donde Q total para el circuito 4 se lo determinará de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{t2}$$

$$Q_t = 183,3 + 8,46$$

$$Q_t = 191,76 \text{ CFM}$$

En la Tabla 2.7 se muestra los valores de demanda de caudal de aire comprimido en el circuito 4.

Tabla 2.7 Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 4

Demanda del caudal de aire comprimido en el circuito 4							
DESCRIPCIÓN	CONSUMO EN CFM	CANTIDAD	fs	fu	CAUDAL (CFM)	CAUDAL (M ³ /H)	CAUDAL (M ³ /S)
ENMALLADORA	130	2	0,94	0,75	183,3	305,93	0,086
PUNTO DE MANTENIMIENTO	18	2	0,94	0,25	8,46	14,12	0,004
CONSUMO TOTAL CAUDAL :					191,76	320,05	0,090

Una vez calculado la demanda del caudal de trabajo, se procede a calcular la demanda del caudal total de operación ($Q_{t\text{ op.}}$) en una red de aire comprimido, la cual se lo determina adicionando al caudal total de trabajo los siguientes porcentajes:

- 5% de volumen por desgaste de máquinas.
- 10% de volumen por fugas.
- 30% de volumen por expansión del sistema.

En la Tabla 2.8 se muestra los valores de demanda de los caudales totales de operación por circuito de aire comprimido.

Tabla 2.8 Tabla de demanda de caudales totales de operación por circuito.

Descripción	Caudal de trabajo (Qt) EN CFM	CAUDAL TOTAL DE OPERACIÓN (Q.T.Op.) en CFM	CAUDAL TOTAL DE OPERACIÓN (Q.T.Op.) en m ³ /h	CAUDAL TOTAL DE OPERACIÓN (Q.T.Op.) en m ³ /s
Circuito 1	191,18	277,21	462,66	0,13
Circuito 2	191,76	278,05	464,07	0,13
Circuito 3	191,76	278,05	464,07	0,13
Circuito 4	191,76	278,05	464,07	0,13

2.2.-Diseño de trayectoria de la tubería del sistema.

El primer paso para poder realizar el diseño del sistema de aire comprimido es determinar la ubicación de los compresores, equipos y accesorios de todo el sistema, por la importancia de trazar la ruta de la tubería principal y de sus ramificaciones secundarias, tomando en cuenta la ubicación de cada equipo, las zonas de seguridad y redes existentes contenidas dentro de un layout aprobado por la gerencia de la empresa.

Red abierta: Está conformada por un solo ramal principal, de la cual se derivan los ramales o también llamadas líneas secundarias que abastecen a los puntos de servicio, como se aprecia en la figura 2.1.

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

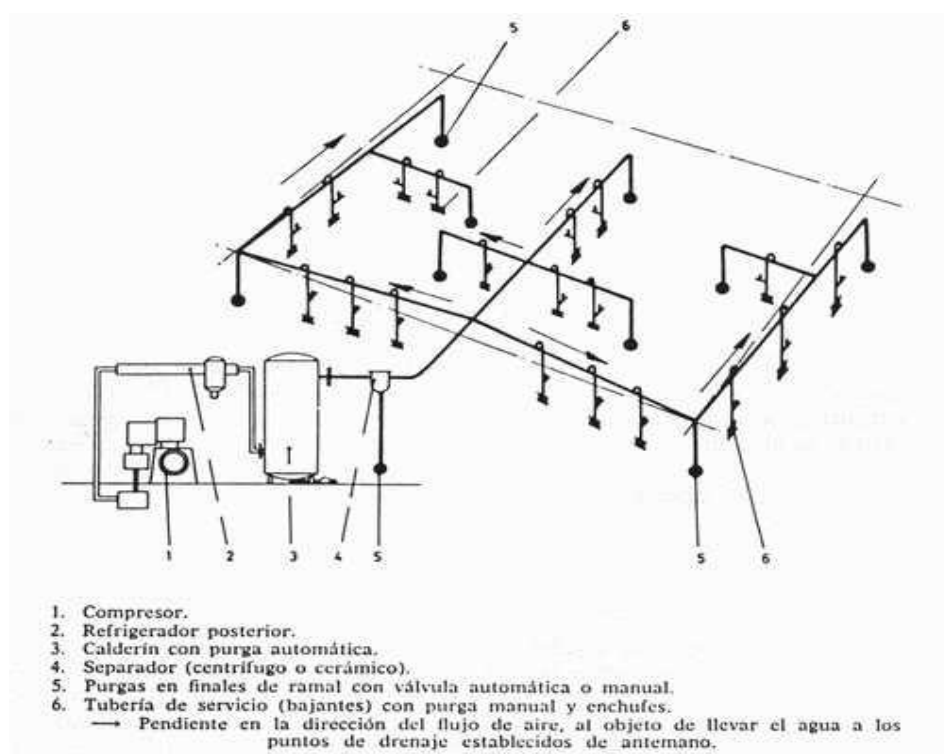


Figura 2.1 Red abierta de un circuito para aire comprimido.

Fuente [15]

Red cerrada: Este tipo de red es también conocida como red tipo anillo o argolla, la cual se debe a la forma de cómo están conectadas y distribuidas la tubería principal.

Unas de las desventajas que existen en esta red es su inversión inicial debido a que es mayor en comparación con la red tipo abierta. En este tipo de red la presión se mantiene constante, lo cual no es necesario realizar paradas en la producción al realizar su respectivo mantenimiento, ya que se lo puede realizar aislando los ramales defectuosos con válvulas by pass como se aprecia en la figura. 2.2.

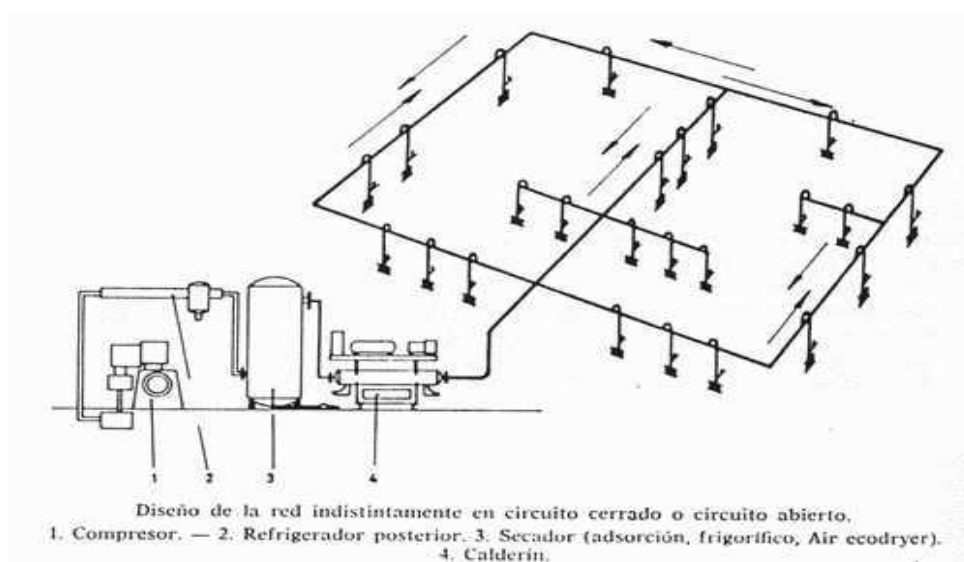


Figura 2.2 Red de aire cerrada.

Fuente [15]

El material utilizado para la tubería en la redes del sistema de aire comprimido será de acero, la cual se recomienda utilizar tubería extruida. En el mercado ecuatoriano se está distribuyendo una tubería de aluminio con una gama de accesorios, cuyas características en el sistema de aire

comprimido cumple con los mismos principios básicos, aunque son más costosos, pero tienen mayor vida útil que las de acero.

Un mal diseño en la trayectoria de la distribución del sistema de aire comprimido ocasionará un mal funcionamiento de las maquinarias que se van a suministrar, y de no disponer de puntos de servicios necesarios para el mantenimiento del proceso, constituye un riesgo para el personal y el equipo de la planta.

También se pueden presentar desalineamiento de las redes hacia el depósito de aire comprimido, debido a malas sujeciones roscables tanto en las uniones como en las tuberías.

Las derivaciones de los ramales secundarios para la toma de conexiones se efectuarán desde la parte superior de la tubería principal, y contará con una válvula de seccionamiento y una válvula de drenaje que será manual para poder liberar la presión y el condensado en la tubería.

Se recomienda que las conexiones de la tubería hacia las máquinas sean desmontables para facilitar su mantenimiento, el cual deben disponer de unidades de mantenimiento para obtener un aire limpio empleando filtros y trampas de condensado, así como lubricadores para las máquinas del

proceso, todos estos elementos serán instalados detrás de las correspondientes válvulas de cierre en dirección del flujo.

Es recomendable que la tubería principal tenga una inclinación del 1 al 2 % de la longitud total en dirección del caudal del aire, para la evacuación de condensado, para lo cual se debe instalar al final de la tubería una válvula de purga.

En el apéndice A se muestra el plano isométrico propuesto para diseño de las trayectorias de las líneas del sistema de aire comprimido. Se definió este tipo de configuración de red de distribución de aire comprimido (red abierta), debido a que abastecerá con toda la demanda requerida de los equipos y por su inversión inicial la cual es económica.

En el mismo apéndice A también se puede observar la conexión de 4 compresores que trabajan en una red de tipo abierta, sin embargo para evitar paradas dentro del sistema por motivos de mantenimiento del secador, se ha propuesto colocar un by pass en cada secador.

También se observa que el primer compresor alimenta al sistema de silos y a la máquina para la preparación de bloques de poliuretano y los otros

tres compresores alimentarán a las seis máquinas enmalladoras con sus respectivas distribuciones para puntos de mantenimientos.

2.3.- Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones.

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

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

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

Para realizar el cálculo del diámetro de la tubería (D), se determina primero la longitud definitiva (L.total), la cual se la evalúa con la ecuación (2.2) :

$$L.\text{total} = 1.6L \quad (2.2)$$

Donde:

L : Longitud equivalente de la tubería en metros.

Una vez calculada la longitud total de la tubería, se procede a calcular el diámetro interno de la misma por medio de la ecuación (2.3):

$$A = Q/V$$
$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (2.3)$$

Donde:

D: Diámetro interno en metros

Q: Caudal en m³/s.

v: Velocidad en m/s.

Otra manera de determinar el diámetro de la tubería es mediante un nomograma, como se aprecia en la figura 2.3, el cual se calcula el diámetro

adecuado de la tubería dentro de los parámetros admisibles de pérdidas de presión y adaptándolo a medidas comerciales.

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

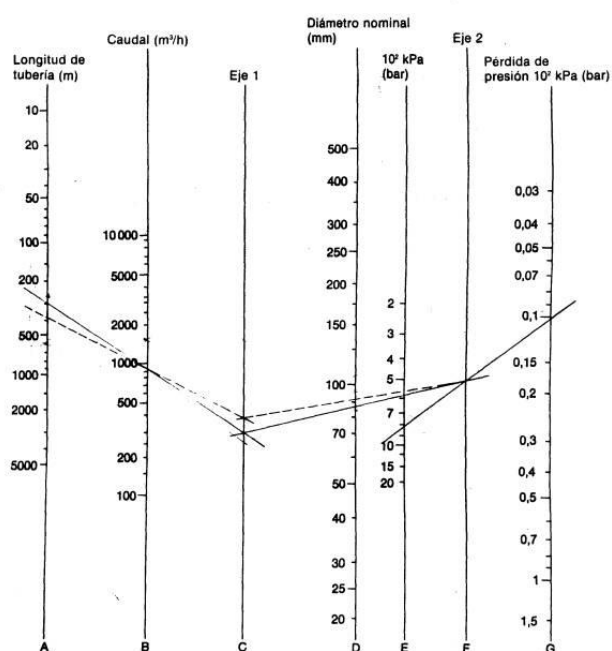


Figura 2.3. Ejemplo de nomograma para caída de presión.

Fuente [19]

Cuando se diseña la red a aire comprimido, se considera muchos factores y parámetros involucrados como los que se describe a continuación:

- Caída de presión. Debido a que las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo, es conveniente utilizar tamaños de tubería tan grandes como sea factible, para asegurar una presión adecuada en todos los puntos de uso de un sistema.
- Requerimiento de potencia en el compresor. La potencia requerida para alimentar el compresor se incrementa a medida que la caída de presión aumenta. Por lo tanto, es adecuado utilizar tuberías cortas o de diámetro mayor para minimizar la caída de presión.
- Costo de la tubería. Los costos de las tuberías son elevadas dependiendo de las longitudes y diámetros, es por eso que resulta más económico trabajar con tuberías de menor longitudes.
- Costo de un compresor. En general, un compresor diseñado para operar a una presión mayor costará más, lo que hace más adecuado el uso de tuberías de mayor diámetro que minimizan la caída de presión.
- Costos de instalación. Las tuberías pequeñas son más fáciles de manejar, aunque este no es en general un factor importante.
- Espacio requerido. Las tuberías pequeñas requieren de un menor espacio y proporcionan menor interferencia con otro equipo u operaciones.
- Expansión futura. Para permitir la adición de más equipos que requieran aire comprimido en el futuro, son recomendables instalar tuberías de mayores diámetros.

El espesor de la tubería para aplicaciones de aire comprimido está en función de la presión generada por el compresor, del diámetro de la tubería y del material de la misma, el cual se lo determina utilizando la ecuación (2.4):

$$e = \left(\frac{P_{sal} * D}{2 \sigma} + C \right) \quad (2.4)$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería.

e: Espesor de la tubería.

Psal: Presión de salida del compresor.

σ : Límite de fluencia del material de la tubería.

C: Constante aplicada por corrosión cuyo valor es 1,7

Una vez obtenida todos los datos necesarios, se procede a calcular la longitud total:

$$L_{total} = 1.6L$$

$$L_{total} = 1.6 (48)$$

$$L_{total} = 76.8 \text{ m.}$$

A continuación se calcula el diámetro interno de la tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,13}{20 * 3,1415}}$$

$$D=0,09 \text{ m}$$

$$D= 3,5 \text{ in}$$

Una vez realizado los cálculos correspondientes se obtuvo una tubería con un diámetro interno de 3,5 pulg., pero debido a que en el medio comercial no existe tubería de este diámetro se selecciona una tubería de 4 pulg. Como se indica en la Tabla 2.9

Tabla 2.9 Tabla normalizada comercial para tuberías metálicas.

DIAMETRO NOMINAL	ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO kg/mt		
	EXTERIOR		e mm	kg/cm2			
	mm	pulg				pulg	lb/pulg2
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

Fuente [4]

A continuación se procede a calcular el espesor de la tubería utilizando la ecuación (2.4).

$$e = \frac{6.14 * 101,6}{2 * 3515} + 1.7$$
$$e = 1,79 \text{ mm}$$

En vista que comercialmente no hay una tubería de 4" con 1,78 mm de espesor, se selecciona con la ayuda de la Tabla 2.9, una tubería de 4 pulg. de diámetro y de 6 mm. de espesor en cedula 40.

2.4.- Dimensionamiento del depósito.

Los depósitos de almacenamiento de aire comprimido, también conocidos como tanque pulmón, además de ser recipientes de acumulación de aire, también realizan las funciones como son las de equilibrar las variaciones del caudal de aire, enfría el aire almacenado, disminuye su velocidad realizando la función en algunas veces como separador de aceite y de condensado proveniente del compresor, amortigua los pulsos de presión convirtiendo un flujo discontinuo en continuo, por lo que es necesario realizar un buen diseño para seleccionar el tamaño correcto.

Todo tanque de pulmón deberá tener instalado los siguientes elementos de seguridad:

- Presostato, Es el que le indica al motor que arranque del compresor cuando la presión del tanque pulmón es menor que la presión de calibración, y de la misma manera producir la parada del compresor cuando se presenta una presión por encima del valor de calibración.
- Válvula de seguridad, Es aquella que debe de ser regulada a una sobre presión máxima de 10% por encima de la presión de trabajo y deberá poder descargar el total del caudal generado por el compresor.
- Manómetro, es un instrumento de medición que nos sirve para visualizar la presión de operación.
- Mecanismo de drenaje manual o automático, en caso de drenaje manual la válvula será de paso recto y accionamiento rápido de diámetro suficiente para evacuar los residuos. Para drenaje automático su apertura se accionara dependiendo del volumen de líquidos a evacuar.

Todo tanque pulmón deberá contar con una apertura de acceso para su inspección y/o mantenimiento.

El depósito de aire comprimido deberá ser instalado en un lugar con suficiente espacio físico, en un entorno seco y fresco, lo más cercano al

compresor de preferencia fuera de las edificaciones para facilitar la disipación del calor producido por el compresor. El depósito deberá ser anclado al piso para evitar vibraciones debido a las pulsaciones de aire.

El depósito de aire deberá tener instalado una placa de identificación donde constaran los parámetros de presión de diseño, la fecha de primera prueba de revisión, datos del fabricante, fecha de registro y dimensiones.

El dimensionamiento del depósito debe ser suficientemente grande como para contener todo el aire recibido del compresor en un periodo de un minuto. Los depósitos por lo general tiene volúmenes de 0.1 lt a 20 lt.

Existen estaciones centrales grandes las cuales cuentan con depósitos de aire comprimido de grandes capacidades de almacenamiento.

A los depósitos pequeños de aire comprimido, la inspección se lo realizará por medio de compuerta bridada de 100 a 150 mm. de diámetro, mientras que en depósitos de mayores tamaños las entradas de inspección serán tipo entrada-hombre de 460 mm. a 508 mm.

Su construcción deberá ser vertical u horizontal de acuerdo al espacio físico de donde vaya a ser instalado.

El depósito tiene que abastecer aire comprimido de modo continuo, su capacidad es suficiente si corresponde a 1/8 hasta 1/10 de caudal en m³/min.

En vista que los equipos de producción trabajarán de manera continua en un periodo de 19 horas, se necesitará que los compresores trabajen 20 veces por hora.

Para calcular el volumen necesario del depósito (V_{Dep}) en m³, se utiliza la ecuación (2.5),

$$V_{Dep} = \frac{15 \cdot V_{ef} \cdot P_1}{Z_s \cdot \Delta p} \quad (2.5)$$

Donde:

p_1 =Presión del entorno en bar.

Z_s =Frecuencia de conexión en h⁻¹.

ΔP = Diferencia de la presión de conexión en bar.

V_{ef} = Caudal de demanda en m³/min.

En la Tabla 2.10 se muestra los caudales de demanda de trabajo por líneas

Tabla 2.10 . Caudal de demanda por líneas.

CAUDAL DE DEMANDA POR LÍNEA			
DESCRIPCIÓN	CAUDAL (CFM)	CAUDAL (M ³ /H)	CAUDAL (M ³ /min)
Línea 1	277,21	462,66	7,711
Línea 2	278,05	464,07	7,734
Línea 3	278,05	464,07	7,734
Línea 4	278,05	464,07	7,734

En el presente caso de estudio, la presión del ambiente es 1 atmósfera, la frecuencia de conexión es de 20 y la diferencia de presión es de 1 bar, por lo que se procede a calcular el volumen del depósito para el aire comprimido de cada línea de distribución de aire.

Línea de aire comprimido 1:

$$V_{Dep} = \frac{15 * 7,711 \text{ m}^3/\text{min} * 1 \text{ bar}}{20 * 1 \text{ bar}}$$

$$V_{Dep} = 5,78 \text{ m}^3.$$

Otro método rápido para determinar el volumen del depósito es mediante el siguiente nomograma en el cual se determina el volumen en función del número de frecuencia de conmutación, diferencia de presión y volumen total de operación, mostrado en la figura 2.4.

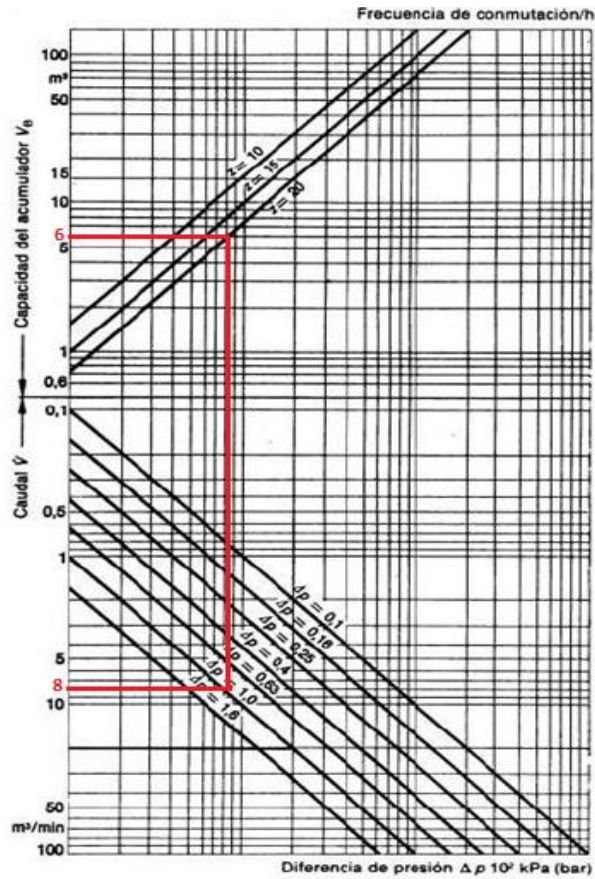


Figura 2.4 Nomograma – Determinación de depósito de aire comprimido.
Fuente [16]

De acuerdo a los datos descritos anteriormente, para la línea 1 se obtuvo un depósito de $5,78 \text{ m}^3$ que es igual a 1526,9 galones, por lo que se procede a seleccionar el volumen inmediato superior comercialmente de 2100 galones, como se puede apreciar en la Tabla 2.11.

Línea de aire comprimido 2:

$$V_{Dep} = \frac{15 * 7,734m^3/min * 1bar}{20 * 1bar}$$

$$V_{Dep} = 5,8m^3.$$

Línea de aire comprimido 3:

$$V_{Dep} = \frac{15 * 7,734m^3/min * 1bar}{20 * 1bar}$$

$$V_{Dep} = 5,8m^3.$$

Línea de aire comprimido 4:

$$V_{Dep} = \frac{15 * 7,734m^3/min * 1bar}{20 * 1bar}$$

$$V_{Dep} = 5,8m^3.$$

En vista que en el mercado no existe un tanque pulmón de $5,8 m^3$ que es igual a 1553.18 galones, entonces se selecciona el volumen inmediato superior de 2100 galones.

Tabla 2.11 Caudal de demanda de aire por líneas .

Capacidad del depósito	Sobrepresión máxima admisible	Versiones posibles		Versión vertical				Versión horizontal				
		Litros / galones	psi	vertical	horizontal	Altura mm	Ø mm	Tubos de entrada/salida	Peso kg	Longitud mm	Ø mm	Tubos de entrada/salida
90 / 24	156	sí	—	1160	350	2 x G ½ detrás	37	—	—	—	—	—
150 / 40	156 227	sí	sí	1190	450	2 x G ¾ detrás	60 67	1050	450	2 x G 2	55 85	
250 / 70	156 227	sí	sí	1540 1545	500	2 x G ¾ detrás	84 100	1410 1410	500	2 x G 2	84 100	
350 / 90	156 227	sí	sí	1810	550	2 x G 1 detrás	100 150	1630 1640	550	2 x G 2	101 164	
500 / 130	11 16	sí	sí	1925 1918	600	2 x G 1 detrás	110 210	1780	600	2 x G 2	130 208	
	639		—	1925			420				—	—
900 / 230	156	sí	—	2170	800	2 x G 2; 2 x G 1½	238	—	—	—	—	
1000 / 270	156 227	sí	sí	2265 2255	800	2 x G 1½; 2 x G 2	244 267	2150 2140	800	G 2; 1 x G 1½	240 360	
	639			2245			4 x G 1½	500			-	-
2000 / 530	156 227	sí	sí	2375 2490	1150 1100	4 x G 2½	470 500	2180	1150	2 x G 2	470 600	
	710		—	2430	1100	4 x DN 80	620				—	—
3000 / 800	156 227	sí	sí	2705 2845	1250	4 x G 2½	680 850	2610 3040	1250 1150	2 x G 2½ 2 x G 2	680 810	
5000 / 1350	156 227	sí	sí	3570	1400	4 x DN 100	1400 1430	3470 3700	1400	4 x DN 100	1100 1800	
8000 / 2100	156 227	sí	sí	4400	1600	4 x DN 200	1680 2350	4440 4400	1600	4 x DN 200	1850 2350	
10000 / 2650	156 227	sí	sí	5415	1600	4 x DN 200	2260 2540	5400 5440	1600	4 x DN 200	2200 2650	

Fuente [7]

CAPÍTULO 3

3.- Selección de elementos del sistema.

El sistema de aire comprimido está compuesto de tres partes:

- Generación.
- Transmisión.
- Demanda.

La generación, es la parte que suministra el aire comprimido utilizando compresores de aire, la cual es producida con los parámetros de caudal, calidad del aire y presión requerida.

La transmisión, es el medio por el cual fluye el aire comprimido generado por los compresores de aire hacia sus respectivos puntos de demanda.

La demanda, son los pies³/min (CFM) necesarios que consumen todos los equipos conectados en una red de aire comprimido, para realizar los trabajos para los cuales fueron instalados.

La parte de la generación estará conformada por los siguientes elementos:

- Compresor de aire.
- Equipos de tratamiento de aire como filtros, secadores, etc.
- Tanque de almacenamiento o también conocido como tanque pulmón.
- Manómetros de presión.
- Válvulas de alivio o sobre presión.

La parte de la demanda estará formada por dos cabezales, uno primario y secundario. El cabezal primario estará conformado por una tubería de distribución principal del aire comprimido, mientras que el cabezal secundario estará conformado por varias derivaciones de tuberías secundarias, para los cuales estarán conformado de los siguientes elementos:

- Válvulas de esferas.
- Regulador de presión.

- Unidades de mantenimiento.
- Manómetros de presión.

3.1.-Selección de accesorios del sistema.

Es importante disponer de un sistema eficiente de distribución de aire comprimido debido a que el aire comprimido generado por el compresor tendrá que llegar hasta las unidades consumidoras (máquinas, herramientas) con la calidad necesaria, cantidad y presión correctas.

El sistema de distribución se lo diseñará de tal manera que el aire comprimido suministrado hacia las unidades consumidoras, este siempre disponible con la presión mínima necesaria para trabajar, sin importar cuan alejada esta dicha unidad dentro de la distribución del diseño.

Los componentes principales la cual está conformada una red de aire comprimido son los siguientes:

- Tubería principal: A través de esta tubería es transportado al aire comprimido generado por el compresor hasta el área en donde se necesite distribuirlo.

- Tubería de distribución: La tubería de distribución por lo general suelen ser una tubería de red cerrada. Esta tubería es la encargada de transportar el aire comprimido, desde la tubería principal hasta los diferentes puestos de abastecimiento de los equipos.
- Tubería de unión: Las tuberías de unión son aquellas que unen a las tuberías de distribución con cada uno de los equipos en los puestos de trabajo. Estas tuberías generalmente son tubos flexibles capaces de soportar la presión a la cual vayan a trabajar.
- Tubería de Derivación: Las tuberías de derivaciones, son tuberías de redes no cerradas, por lo que estas tuberías son las encargadas de transportar el aire comprimido desde la tubería de distribución hasta el lugar de trabajo del taller terminando en un punto muerto. Una de sus ventajas es que se necesita menos material de instalación que en una red circular.

Las válvulas y los accesorios que son utilizados para realizar las conexiones neumáticas en la red de aire comprimido, incluyen componentes que son conectados en las tuberías y que a su vez influyen en el caudal.

En la figura 3.1 se muestra el ejemplo de un sistema que incluye los componentes más importantes.

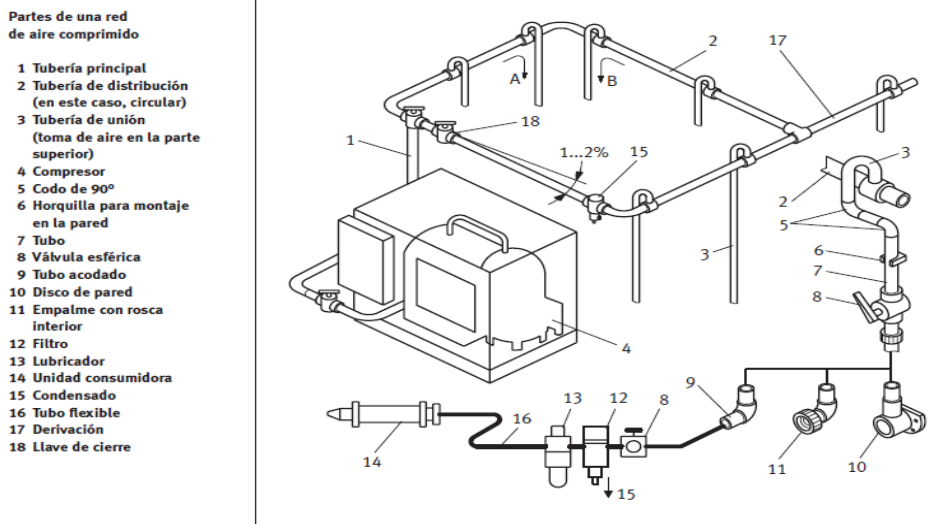


Figura 3.1 Componentes de una red de aire comprimido.

Fuente [20]

En la misma figura 3.1, se puede apreciar que las tuberías de distribución deben ir conectadas en la parte superior de la tubería principal, este tipo de conexión también es conocida como conexión en cuello de cisne, el cual se lo debe de realizar de esta manera para que el agua producido por el condensado no sea arrastrada junto con el aire a presión.

La purga para el condensado deberá estar instalado en las tuberías de las zonas más bajas de la distribución de la red.

En la figura 3.2 se puede apreciar la ubicación de la conexión de la válvula para la purga del condensado.

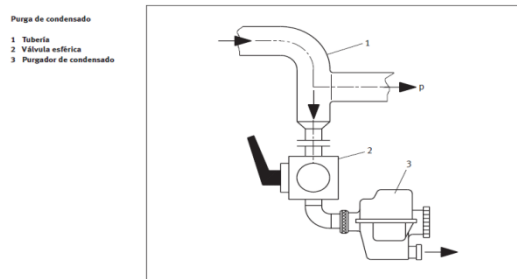


Figura 3.2. Válvula para purga del condensado.

Fuente [20]

Las válvulas de alivio, también conocidas como válvulas de seguridad, están diseñadas para proteger al sistema neumático de una presión que estará por encima de la nominal (sobrepresión), la cual funciona mediante una compuerta que mantiene cerrado la salida del aire almacenado, la cual se calibra un mecanismo interno a través de un resorte, cuando la presión interna supere a la presión de calibración, este hará que la compuerta ceda y que el aire fugue por el escape.

En la figura 3.3 se puede apreciar las partes internas la válvula de alivio

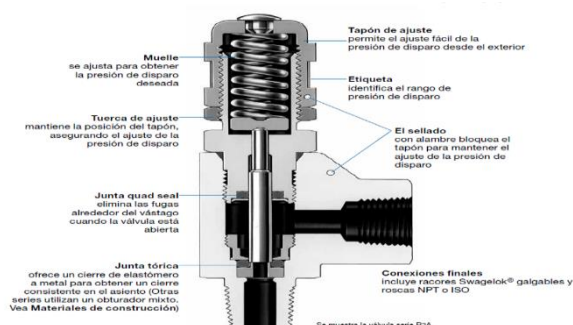


Figura 3.3 Válvula de alivio.

Fuente [8]

Para el presente proyecto, con los datos y resultados obtenidos para un caudal $464 \text{ m}^3/\text{h}$, con ayuda de las Tablas 3.1 y 3.2 se procede a seleccionar el dimensionamiento de la válvula y las capacidades de presiones respectivamente, en donde se selecciona la válvula de alivio marca Apollo, Modelo 15-118.

Tabla 3.1 Dimensión de válvulas de alivio marca Apollo Valves.


Número de modelo	Entrada Tamaño (pulg./mm)	Dimensiones (pulg./mm)		Peso/100 (lbs./kg)
		A	B	
15-112	1/4 NPT	2.62	0.78	18.5
	8	66	20	8.4
15-115	3/8 NPT	3.25	1.12	42.2
	10	82	28	19.2
15-117	1/2 NPT	3.37	1.12	45.3
	15	85	28	20.6
15-118	3/4 NPT	4.06	1.21	58
	20	105	30	26.4
15-119	1 NPT	5.12	1.87	153
	25	130	47	69.5

Fuente [3]

Como se puede apreciar en la Tabla 3.2, el caudal más próximo de la válvula seleccionada es de 484 m³/h por lo que tendría una presión de ajuste de 4.83 bar.

**Tabla 3.2 Capacidades de presiones de las válvulas de alivio
marca Apollo.**

Válvulas de alivio de aire



SERIE 15

ASME SECCIÓN VIII AIRE

Pies cúbicos estándar por minuto (metros cúbicos normalizados por hora) de aire a 10% de sobrepresión. Certificación de National Board Los valores nominales son el 90% de los reales.

Unidades habituales en los EE.UU.: SCFM de aire					Unidades métricas Nm ³ /h Aire				
N° de modelo Tamaño (pulg.)	15-112 1/4	15-115 & 117 3/8 & 1/2	15-118 3/4	15-119 1	N° de modelo Tamaño (mm)	15-112 8	15-115 & 117 10 & 15	15-118 20	15-119 25
Presión de ajuste psig					Presión de ajuste barg				
15	24	60	107	222	1.03	39	96	172	357
20	28	70	124	256	1.38	45	112	199	411
25	32	79	140	290	1.72	51	127	225	466
30	35	88	156	323	2.07	57	141	251	519
35	39	98	174	361	2.41	63	157	280	580
40	43	109	193	398	2.76	69	175	310	640
45	47	119	211	435	3.10	75	191	339	699
50	51	128	229	473	3.45	82	206	368	760
55	55	139	247	510	3.79	88	223	397	820
60	60	149	265	547	4.14	96	239	426	879
65	64	159	283	584	4.48	103	255	455	939
70	68	170	301	621	4.83	109	273	484	1,000
75	72	179	319	659	5.17	116	288	513	1,059
80	76	190	337	696	5.51	122	305	542	1,119
85	80	200	355	734	5.86	129	321	571	1,180
90	84	210	373	771	6.20	135	337	600	1,239
95	88	220	391	808	6.55	141	354	628	1,299
100	92	230	409	845	6.89	148	370	657	1,358
105	96	241	427	883	7.24	154	387	686	1,419
110	100	251	445	920	7.58	161	403	715	1,479
115	104	261	463	957	7.93	167	419	744	1,538
120	108	271	481	995	8.27	174	436	773	1,599
125	112	281	499	1,032	8.62	180	452	802	1,659
130	116	292	517	1,069	8.96	186	469	831	1,718

Fuente [3]

Las válvulas tipo esferas están basados en un diseño totalmente perforado, garantizando de esta manera el paso del aire comprimido a través de ellas sin ningún tipo de obstrucciones al flujo, con el fin de obtener una caída de presión mínima.




Figura 3.4 Válvulas esféricas.

Fuente [12]

Para el presente trabajo, y utilizando la Tabla 3.3, se selecciona una válvula de esfera de 2 piezas, para una presión máxima de 11,6 bar, modelo M31SISO marca SPIRAX SARCO

Tabla 3.3 Características técnicas de válvula tipo esfera

Modelo	Tamaños	Cuerpo	Vapor saturado		Conexiones	Paso RB = Paso reducido FB = Paso total	Material del cuerpo  2 = Cuerpo en acero al carbono 3 = Cuerpo en acero inoxidable 4 = Cuerpo, tornillos y tuercas en acero inox.
			Presión máxima bar g	Temperatura máxima °C			
M10V	DN6 a DN50	3 Piezas	10	184	BSP, BSPT, NPT, SW, BW, ANSI 150	RB y FB	Forjado 2 ASTM A105 3 ASTM A182 F316L 4 ASTM A182 F316L
	DN65	3 Piezas	10	184	ANSI 150	RB	
M31V ISO	DN50 a DN200	2 Piezas	10	184	ANSI 150 ANSI 300 PN16 F1 y F4 / F5	FB	Fundición 2 ASTM A216 WCB o DIN 17245 3 ASTM A351 CF8M
M40V ISO	DN25 a DN150	1 Pieza	10	184	ANSI 150 ANSI 300	RB	Fundición 2 ASTM A216 WCB 3 ASTM A351 CF8M
M10S M10S ISO	DN6 a DN50	3 Piezas	17,5	208	BSP, BSPT, NPT, SW, BW, PN40, ANSI 150, ANSI 300	RB y FB	Forjado 2 ASTM A105 3 ASTM A182 F316L 4 ASTM A182 F316L
	DN65					RB	
M31S ISO	DN50 a DN200	2 Piezas	11,6	190	PN16	FB	Fundición 2 DIN 17245 3 ASTM A351 CF8M 2 ASTM A216 WCB 3 ASTM A351 CF8M
			17,5	208	ANSI 150 ANSI 300		
M20S	DN25 a DN150	1 Pieza	17,5	208	ANSI 150 ANSI 300 PN40	RB	Fundición 2 ASTM A216 WCB 3 ASTM A351 CF8M (Solo bridas PN40)
M21S ISO	DN15 a DN100	1 Pieza	17,5	208	PN40	RB	Fundición 2 DIN 17245 3 ASTM A351 CF8M
M40S ISO	DN25 a DN150	1 Pieza	17,5	208	ANSI 150 ANSI 300	RB	Fundición 2 ASTM A216 WCB 3 ASTM A351 CF8M
M10H ISO	DN6 a DN40	3 Piezas	39	250	BSP, BSPT, NPT, SW, BW, PN40	RB y FB	Forjado 2 ASTM A105 (acero inoxidable disponible bajo pedido)
	DN50					RB	
M20H	DN25 a DN150	1 Pieza	39	250	PN40 ANSI 150 ANSI 300	RB	Fundición 2 ASTM A216 WCB 3 ASTM A351 CF8M (Solo bridas PN40)

Fuente [10]

Los reguladores de presión, son elementos con los cuales se regula la presión neumática en un sistema para las demandas correspondientes, debido a que existen equipos neumáticos como son herramientas neumáticas, actuadores y

válvulas y que necesitan trabajar con una presión específica para que sus funcionamientos sean de una manera eficiente.

En la figura 3.5 se puede apreciar un regulador de presión.



Figura 3.5 Regulador de presión.

Fuente [8]

Para el presente proyecto con la ayuda de los datos obtenidos se necesitará una presión salida de 5,8 bar, una filtración de partículas de hasta 40 μm , clase de aire 3 y 5, y una purga manual, por lo que se seleccionó un regulador de presión neumática Marca Normen modelo B72, como se aprecia en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Datos técnicos de filtro regulador.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Regulador :	Modelo B72
Fluido :	Aire comprimido
Presión máxima del depósito transparente :	10 bar (150 psig)
Presión máxima de la purga manual o semiautomática:	17 bar (250 psig)
Purga automática:	10 bar (150 psig)
Temperatura de trabajo del depósito transparente:	-20° a +50°C (0° a +125°F)
Temperatura de trabajo del depósito metálico:	-20° a +65°C (0° a +150°F)
Eliminación de partículas:	5 µm- 25 µm - 40 µm. Según ISO 8573-1,
Clases de aires :	Clase 3 y Clase 5
Caudal típico con presión de entrada a 10 bar (150 psig), presión de Salida a 6,3 (90 psig) y pérdida de carga a 1 bar (15 psig):	38 dm ³ /s (80 scfm)
Conexión de la purga manual:	1/8"
Conexión purga semiautomática:	Espiga y tuerca 8 mm (5/16in) ID tubo
Condiciones de trabajo de la purga semiautomática (a presión):	
Presión de depósito para cerrar la purga :	Superior a 0,1 bar (1.5 psig)
Presión del depósito para abrir la purga:	Inferior a 0,1 bar (1.5 psig)
Caudal mínimo de aire para cerrar la purga:	0,5 dm ³ /s (1 scfm)
Manualmente:	Levantar la espiga para purgar el depósito.
Conexión de la purga automática :	1/8"
Condiciones de trabajo de la purga automática:	
Presión del depósito para cerrar la purga:	Superior a 0,3 bar (5 psig)
Presión del depósito para abrir la purga:	Inferior a 0,2 bar (3 psig)
Caudal mínimo de aire para cerrar la purga:	0,1 dm ³ /s (0.2 scfm)
Manualmente:	Empujar la aguja hacia dentro.

Fuente [8]

La presión existente en el extremo más lejano de la tubería de distribución en una red de aire comprimido de circuito abierto, en muchos casos es

escasa, por lo que si una unidad consumidora recibe insuficiente presión, puede ser por las siguientes causas:

- Un mal diseño de la red de distribución.
- Un mal seleccionamiento del compresor o de rendimiento insuficiente.
- Los tubos flexibles que suministran el aire comprimido a las herramientas son demasiado largos o de diámetro demasiado pequeño
- Un mal estado de la red de aire comprimido por lo general puede producir fugas.
- Acoplamientos y boquillas de diámetros demasiado pequeños.
- La existencia de un exceso de piezas acodadas (disminuyen la presión).

En la Tabla 3.5 se puede apreciar la cantidad de derivaciones de las tuberías con sus respectivos diámetros.

Tabla 3.5 Número de derivaciones en la red de aire comprimido .

Tubería de distribución en pulg.	Cantidad de derivaciones									
	Diámetro interior en milímetros.									
	mm	3	6	10	13	19	25	38	51	76
½	13	20	4	2	1	-	-	-	-	-
¾	19	40	10	4	2	1	-	-	-	-
1	25	-	18	6	4	2	1	-	-	-
1 1/2	38	-	-	16	8	4	2	1	-	-
2	51	-	-	-	16	8	4	2	1	-
3	76	-	-	-	-	16	8	4	2	1
4	102	-	-	-	-	32	16	8	4	2

Fuente [6]

Cuando se diseña una nueva red de aire comprimido, es muy importante tener en cuenta las dimensiones de las tuberías, por lo que se deberá proceder de la siguiente manera:

- Definir el lugar en donde van a ser instaladas las unidades consumidoras.
- Definir las cantidades de unidades consumidoras, clasificándolas según el tipo y la calidad de aire que vayan a requerir.
- Elaborar una lista de equipos con sus respectivos consumos de aire para cada una de las unidades consumidoras.
- Determinar el consumo medio, considerando la duración de la conexión, la simultaneidad de funcionamiento y las reservas necesarias para una posible posterior ampliación de la red.

- Confección del plano de las tuberías, incluyendo su longitud, los accesorios (derivaciones, codos, reductores) y los racores necesarios.
- Calcular la resistencia que se opone al caudal, convirtiendo la resistencia de los componentes en el equivalente de la resistencia en las tuberías en función de su longitud.
- Determinar de la pérdida de presión admisible en cada red del sistema de aire.
- Determinar la longitud nominal de los tubos para, a continuación, determinar su diámetro interior.
- Elección del material de los tubos.

Todos los accesorios pertenecientes a un sistema de aire comprimido, ya sea una de red abierta o cerrada, generalmente dependerán de los siguientes tres parámetros de operación:

- Calidad de aire.
- Requerimiento de Caudal.
- Requerimiento de Presión.

La calidad de aire:

El caudal y la presión del aire comprimido se las determina mediante la demanda de los caudales y caída de presión total, que vayan a existir en la línea de la red.

La calidad del aire estará determinada por la cantidad de humedad y contaminación de partículas de polvo o aceite.

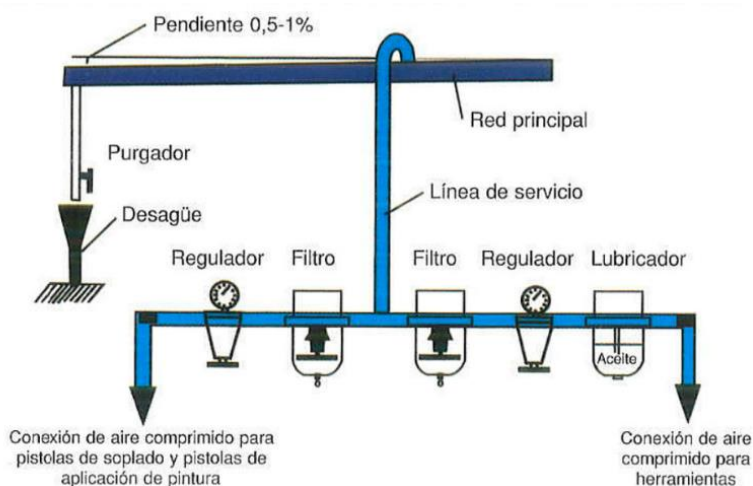


Figura 3.6 Bosquejo de conexiones para una buena calidad del aire comprimido.

Fuente [13]

Por lo general existen 4 niveles de calidad de aire, las cuales se encuentran clasificadas dependiendo de su aplicación, las cuales se detallan a continuación:

- Aire para la planta, esta calidad de aire se presenta relativamente sucio y húmedo, donde por lo general su aplicación será en herramientas neumáticas y para uso general.
- Aire para instrumentos, esta calidad de aire se presenta con cantidad de humedad y suciedad relativamente moderadas, por lo que es utilizada en

laboratorios, sistema de aplicación de pinturas por roció o pintura por atomización, controles de climas, etc.

-Aire para procesos, esta calidad de aire presenta poca humedad y casi nula en impurezas de partículas de polvos, su aplicación se encuentra en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.

-Aire para respiración, esta calidad del aire no deberá presentar humedad y es totalmente libre de aceite y polvos, por lo que es utilizado para suministrar este aire a los tanques para equipos de buceo, para casas de salud, consultorios , etc.

Estas calidades de aire se pueden obtener por medio de los equipos de secado y del sistema de filtración para el caso de partículas de polvos y aceite.

Requerimiento de caudal.

También conocida como demanda o capacidad requerida en el sistema de aire comprimido, se lo denomina como la sumatoria de los consumos promedios requeridos de cada herramienta, equipos o accesorios que intervienen en el sistema de aire comprimido.

Un término muy utilizado en los sistemas de aires comprimidos es el caudal, la cual se lo puede definir como el volumen del aire que es

transportado a través de una tubería con una sección transversal en una determinada velocidad.

El caudal se lo puede determinar con la ecuación (3.1).

$$Q = A * V \quad (3.1)$$

Donde:

Q: caudal.

A: área de la tubería.

V: Velocidad del aire que fluye en la tubería.

Las unidades de medida del caudal en un sistema de aire comprimido pueden ser en pies cúbicos por minuto (CFM), metros cúbicos por hora o metros cúbicos por segundo, según sea la conveniencia del diseñador.

.

Otra manera efectiva de realizar el diseño y operación eficiente en una red de aire comprimido, es mediante una revisión y/o evaluación del perfil de demanda de las carga, las variaciones de las demandas que se generan durante el periodo del uso de aire comprimido por cada punto de consumo.

Es muy importante realizar un buen diseño en la red de aire comprimido, y no basarse a diseños anteriores de usos muy diferentes e inapropiados lo cual da lugar a demandas ficticias

Requerimiento de presión:

La caída de presión total en una red de aire comprimido se debe determinar en cada uno de los puntos de consumo o demanda, la cual se encuentra directamente relacionada a la demanda de presión de cada equipo, máquina, etc.

Una vez determinados los requerimientos necesarios del consumo, se podrá definir el nivel de presión de la red, teniendo siempre presente que mientras el nivel de presión sea mayor, entonces el sistema de aire comprimido se va a encarecer, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

También es importante sumar las caídas de presión generadas por las tuberías, accesorios de las tuberías y los accesorios para la calidad del aire como son los filtros, separadores, secadores, etc.

3.2.-Selección del secador de aire comprimido.

Un conocimiento básico del aire es que está compuesto de una mezcla de gases y de vapor de agua, teniendo en cuenta que la condensación del vapor es perjudicial en una red de aire comprimido.

Esto sucede debido a que el volumen del vapor de agua en el aire varía dependiendo básicamente de la temperatura, es decir que cuando la temperatura del aire aumenta (en etapa de la compresión), la capacidad de retención de la humedad del aire también aumenta, y que cuando el aire se enfría entonces su capacidad de retención de la humedad también se reduce, generando entonces vapor de agua condensado.

El proceso de secado del aire comprimido es uno de los puntos más importantes para la preparación del mismo, ya que un aire bien seco evita la presencia de corrosión de las tuberías y en los equipos neumáticos. En la Tabla 3.6 se presenta las cantidades del vapor de agua versus temperatura.

Tabla 3.6 . Cantidad de saturación del aire con respecto a la temperatura.

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

Fuente [9]

En la figura 3.7 se muestra los diversos métodos para secar el aire.

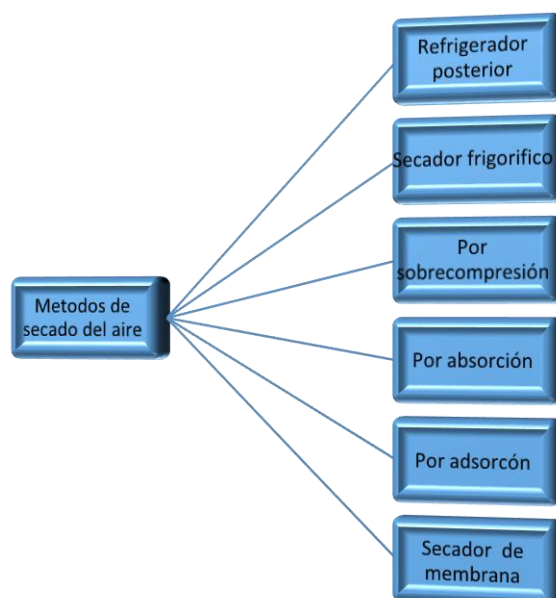


Figura 3.7 Métodos de secado del aire.

Fuente [2]

Refrigerador posterior: Básicamente es un intercambiador de calor, el cual enfría el aire que se calienta producto de la compresión, para que de

esta manera hacer precipitar el agua, ya que en caso de no realizarse esto pues se condensará en las tuberías causando molestias en el sistema. Este refrigerador posterior está dotado por lo general de un separador de humedad con purga automática.

La temperatura de salida del aire comprimido a través del refrigerador será aproximadamente de 10°C, lo cual está por encima de la temperatura del refrigerante, por lo que el 80 al 90 % del agua precipitada es recogida por el separador de humedad. Actualmente los compresores de aire modernos ya vienen integrados un refrigerador posterior.

En la figura 3.8 se puede apreciar un refrigerador posterior.

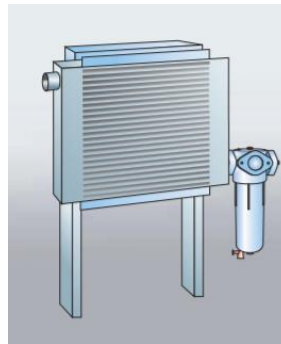


Figura 3.8 Refrigerador posterior.

Fuente [2]

Secador frigorífico: Este método consiste en hacer enfriar el aire comprimido haciendo disminuir la temperatura, para que de esta manera se pueda condensar gran cantidad de agua, con el objetivo de poderlo separar y purgarlo, la cual se lo puede realizar mediante un sistema cerrado de enfriamiento.

El proceso de secado por refrigeración corresponde al 3% de los costos energéticos correspondiente a la generación de aire comprimido.

En la figura 3.9 se puede apreciar las curvas comparativas de presión, temperatura, humedad específica y humedad relativa de refrigeradores posteriores.

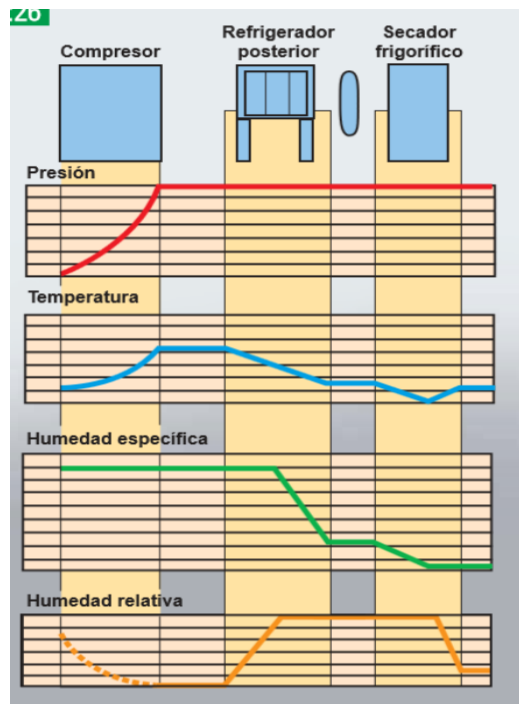


Figura 3.9 Curvas comparativas de refrigerador posterior.

Fuente [2]

Secado por compresión: Este método se podría decir que es uno de los métodos más sencillos para secar el aire comprimido, el cual consiste en comprimir el aire a una presión superior que la de trabajo, de esta manera aumentando la concentración de vapor de agua para luego pasarlo por un proceso de enfriamiento haciendo que el vapor de agua se condense, el único inconveniente es que este método resulta conveniente en sistemas para caudales de aire muy pequeños debido a su elevado consumo energético.

Método por absorción: Este método consiste en un proceso químico el cual hace una sustancia química (solución salina) atraiga al vapor de agua pasando por un material absorbente.

En la figura 3.10 se puede apreciar las partes internas de un secador por absorción.

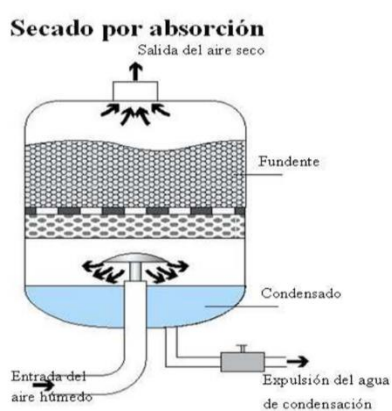


Figura 3.10 Secado por absorción.

Fuente [9]

En muchos casos la sustancia química a utilizarse es el cloruro sódico o el ácido sulfúrico, este método no es muy común utilizarlo debido a su elevado consumo de material absorbente, ya que es necesario rellenar constantemente con la sustancia

Método por adsorción: El principio general de trabajo de estos equipos consiste en que, el aire húmedo fluye a través de un agente secante que no es más que un gel higroscópico, que está haciendo que se sature de

forma gradual con el agua absorbida, este desecante a medida que se lo utiliza pierde su capacidad de adsorción, por lo que es necesario regenerarlo periódicamente para recuperar su capacidad de secado.

Estos tipos de secadores generalmente utilizan dos torres de secado, en donde la primera torre seca el aire de entrada mientras que la segunda torre se regenera.

Secador de membrana:

Estos secadores utilizan el proceso de permeación selectiva de los componentes del gas en el aire, y de este modo se reduce la humedad del aire en un valor determinado, a diferencia de los secadores por adsorción y por frío que lo hacen en relación de un punto de condensación bajo presión.

En la figura 3.11 se puede apreciar el secador de membrana.



Figura 3.11 Secador de membrana.

Fuente [9]

Debido a su principio de operación y costos económicos, en el presente proyecto se selecciona un secador del tipo refrigerativo mediante la demanda máxima volumétrica de la misma a una presión de 7 bar, en la cual se utiliza la ecuación (3.2).

$$V_{max\ serv} = V_{operacion} * K_p * K_{te} * K_{ta} \quad (3.2)$$

Donde:

K_p =Factor de corrección con respecto a la presión de entrada.

K_{te} =Factor de corrección de temperatura del aire comprimido a la entrada.

K_{ta} =Factor de corrección de temperatura ambiente.

Para el circuito 1:

$$V_{max\ serv} = 7,711m^3/min * 1,10 * 0,83 * 0,99$$

$$V_{max\ serv} = 6,96 m^3/min$$

En vista que el consumo de las líneas 2, 3 y 4 son las mismas debido a que trabajaran con las mismas cantidades y clases de equipos , entonces el $V_{max\ serv}$. para cada una de las líneas serán las mismas.

Para los circuitos 2,3 y 4:

$$V_{max\ serv} = 7,734m^3/min * 1,10 * 0,83 * 0,99$$

$$V_{max\ serv} = 6,99 m^3/min$$

Por lo tanto, con la ayuda de la Tabla 3.7 se seleccionará un secador Kaeser modelo TD 76, el cual presenta una pérdida de presión de 0,17 bar, flujo volumétrico máximo de 8,25 m^3/min y una potencia efectiva absorbida al 100% del flujo volumétrico de 1,40 kW.

Tabla # 3.7 Características técnicas de los secadores Kaeser

Model *)	Flow rate at 7 bar operating pressure **) m ³ /min	Pressure loss bar **)	Effective power consumption **)			Electrical supply	Air connection (Female thread)	Connection condensate outlet	Dimensions W x D x H mm	Weight kg
			At 100 % flow volume kW	At 50 % flow volume kW	At 10 % flow volume kW					
TA 5	0.60	0.07	0.29	0.16	0.04	230 V 50 Hz 1 Ph	G ¾	G ¼	630 x 484 x 779	70
TA 8	0.85	0.14	0.27	0.15	0.04					80
TA 11	1.25	0.17	0.28	0.15	0.04					85
TB 19	2.10	0.19	0.55	0.30	0.08	230 V 50 Hz 1 Ph	G 1	DN 10	620 x 540 x 963	108
TB 26	2.55	0.20	0.62	0.34	0.09					116
TC 31	3.20	0.15	0.75	0.41	0.11	230 V 50 Hz 1 Ph	G 1¼	DN 10	774 x 660 x 1009	155
TC 36	3.90	0.16	0.88	0.48	0.13					170
TC 44	4.70	0.15	0.89	0.49	0.13					200
TD 51	5.65	0.11	0.86	0.47	0.13	400 V 50 Hz 3 Ph	G 1½	DN 10	759 x 1125 x 1187	251
TD 61	7.00	0.15	1.10	0.61	0.17					251
TD 76	8.25	0.17	1.40	0.77	0.21		G 2			287
TE 91	10.15	0.15	1.15	0.63	0.17	400 V 50 Hz 3 Ph	G 2	2 x DN 10	1060 x 1520 x 1513	570
TE 121	12.70	0.18	1.45	0.80	0.22					660
TE 141	14.30	0.24	1.60	0.88	0.24					660

Fuente [7]

3.3.-Selección del Separador de aceite y de agua.

Para generar aire comprimido hay que precautelar la calidad del aire, ya que al compresor le ingresan partículas contaminantes como el polvo, aceites, agua, etc.

Debido a la utilización de equipos neumáticos en determinados sectores industriales como por ejemplo, en las farmacéuticas, alimenticias o de pintura exigen un aire comprimido limpio y de buena calidad , es decir sin aceites, ni humedades, ni partículas de polvo, y es ahí donde aparece este principal problema, debido a que este aceite puede realizar obstrucciones en los elementos sensibles de los componentes de la red, equipos neumáticos y sistemas de controles neumáticos que disponen en las fábricas.

En la Tabla 3.8 se muestra las diferentes clases de aire para un sistema neumático.

Tabla 3.8 Contenido de aceite en el aire comprimido según su clase.

Tipos de clases de aire	Contenido del aceite (mg/m³)
1	0,01
2	0,1
3	1
4	5
5	25

Fuente [17]

3.4.-Selección de Filtros.

El aire es una mezcla de varios gases, entre ellos los principales son el nitrógeno y el oxígeno, pero adicionalmente también viene contaminada de partículas contaminantes como el polvo ,aceites, agua, etc, motivo por este motivo se instalan filtros, dependiendo del caso.

La selección del filtro adecuado es fundamental para obtener aire comprimido de alta calidad, debido a que un filtro fino no es suficiente para obtener la calidad deseada, es necesario prever varias fases de filtración.

Clasificación de los filtros:

Existen varias clases de filtros, los cuales tienen la capacidad de retener las partículas según el tamaño detallado a continuación:

- Pre-filtros: Estos serán los primeros filtros en instalarse después de los compresores, ya que tienen la función de eliminar las partículas gruesas que podrían ingresar en el compresor. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente, es decir, que pueden eliminar una cierta cantidad de agua y aceite, con una capacidad de filtrado de partículas sólidas superior de 1 micra y de 1 mg/m^3 .
- Filtros intermedios: Estos filtros serán instalados a continuación de los pre-filtros, ya que están designados a proteger los distintos accesorios y equipos que se instalarán en la red de aire comprimido. Sus características se definen en función de la calidad de aire requerida.
- Filtros de partículas: Tienen casi la misma función de los pre-filtros pero de un mayor grado de filtrado. Para partículas hasta 0,1 micras y para aceite o agua hasta $0,1 \text{ mg/m}^3$.
- Filtros de carbón activo: Están designados para la eliminación de vapores y olores de aceite. No son capaces de eliminar el 100 % de esta contaminación, pero el residual que dejan es muy pequeño con una media $0,003 \text{ mg/m}^3$.
- Torres de carbón activo: Son utilizados para la reducción al máximo los agentes residuales de vapor de aceite y olores, con la idea de ser usadas en sistemas de respiración humana.

- Filtros catalizadores: Estos filtros son utilizados para sistemas de respiración de personas cuya función es la eliminación del Monóxido de Carbono (CO).

Los elementos filtrantes del carbón activo tendrán que cambiarse cada 1000 horas de funcionamiento o en su defecto, debido a que poco a poco va perdiendo su capacidad de filtración.

En el aire comprimido se admite la presencia de las siguientes partículas:

- Partículas desde 40 μm hasta 5 μm en motores de embolo rotativo con paletas, cilindros neumáticos, unidades de mando y herramientas percutoras
- Partículas inferiores a 5 μm en reguladores, válvulas, instrumentos de medición, pistolas de inyección.
- Partículas inferiores a 1 μm en el caso de aplicaciones en la industria alimenticia, farmacéutica y electrotécnica.

Para poder seleccionar un filtro, es recomendable tener presente los siguientes parámetros:

- Grado de pureza.
- Tamaño de las conexiones (En función de la presión y del caudal)

- Tipo de purga (manual o automática).

Para determinar el grado de pureza que debe de tener el aire comprimido existen clases de calidad recomendadas para cada aplicación neumática.

Estas clases corresponden a la calidad del aire, que como mínimo necesitaría la unidad consumidora correspondiente.

En la Tabla 3.9 se puede apreciar las calidades del aire comprimido en función de los tipos de impurezas. Las clases de calidad se definen en concordancia con la norma DIN ISO 8573-1.

Tabla 3.9 Tabla de calidad del aire comprimido según su aplicación.

Aplicaciones	Cuerpos sólidos (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 herramienta	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 [18]

El tamaño de las conexiones se deberá elegir de tal manera que la pérdida de presión no sea superior al 2% de la presión absoluta de entrada.

Siendo la presión de trabajo de 7 bar, entonces la pérdida de presión admisible sería de $\Delta p = 0,14$ bar, claro está que también el mejor filtro provoca una pérdida de presión.

Es importante respetar los límites del caudal mínimo y máximo, si el filtro funciona mientras el caudal es inferior al mínimo admisible, entonces las fuerzas de Van Der Waals suelen no ser suficientes para eliminar las partículas, por lo que el aire comprimido las seguirá transportando. Si el filtro funciona siendo el caudal superior al máximo admisible (cosa que sucede con frecuencia en la práctica), entonces aumenta considerablemente la presión diferencial, y en esas condiciones el sistema funciona con menos eficiencia, por lo tanto aumentarán los costos. Incluso puede llegarse a la situación extrema en la que las partículas que antes fueron retenidas por el filtro, vuelvan a desprenderse por la fuerza del flujo.

En esos casos el usuario se sorprende y no entiende por qué el aire comprimido contiene una cantidad significativa de partículas a pesar de los filtros.

Para el presente proyecto, se utiliza la Tabla 3.10 para seleccionar un filtro marca Festo LFR-M5-D-7-5M, para partículas de hasta 1 micra con contenido residual de aceite de $0,1 \text{ mg/m}^3$, lo cual se recomienda instalarlo antes del secador frigorífico.

Tabla 3.10 Características técnica de filtro de aire.

Presión de entrada [bar]	1 ... 10	0 ... 10	1 ... 10
Margen de regul. de la presión [bar]	0,5 ... 7	–	0,5 ... 7
Fluido	Aire comprimido		
Posición de montaje	Vertical $\pm 5^\circ$	Indifer.	
Temperatura ambiente [°C]	-10 ... +60		
Temperatura del fluido [°C]	-10 ... +60		

Fuente [5]

3.5.-Selección del compresor.

Actualmente en la industrial moderna se requiere la compresión de los fluidos, gases y vapores, para una gran gama de usos como por el ejemplo el accionamiento de herramientas neumáticas, cilindros neumáticos, mecanismos de potencia, mantenimientos, limpieza de equipos, etc; los cuales son aplicaciones que de alguna manera requieren aire comprimido.

Existen otros tipos de gases que deben ser comprimidos para diversos usos como son: los medicinales (O_2), extinción de incendios (CO_2), soldadura (O_2 , argón, acetileno, butano, etc.), domésticos (GLP), etc.

Es importante tener en cuenta que cuando las elevaciones de presión son reducidas, es decir que cuando la relación de $P.\text{desc}/P.\text{admis} < 1,1$, entonces estos equipos son llamados ventiladores, por lo cual la densidad del gas suele no variar más de un 5%.

-Cuando la relación de $P.\text{desc}/P.\text{admis}$ está entre 1,5 a 2, entonces estos equipos son llamados sopladores.

-Cuando relación de $P.\text{desc}/P.\text{admis}$ son mayores a 2, entonces estos equipos son llamados compresores.

En la figura 3.12 se muestran las clasificaciones y los tipos de compresores más utilizados en la industria.

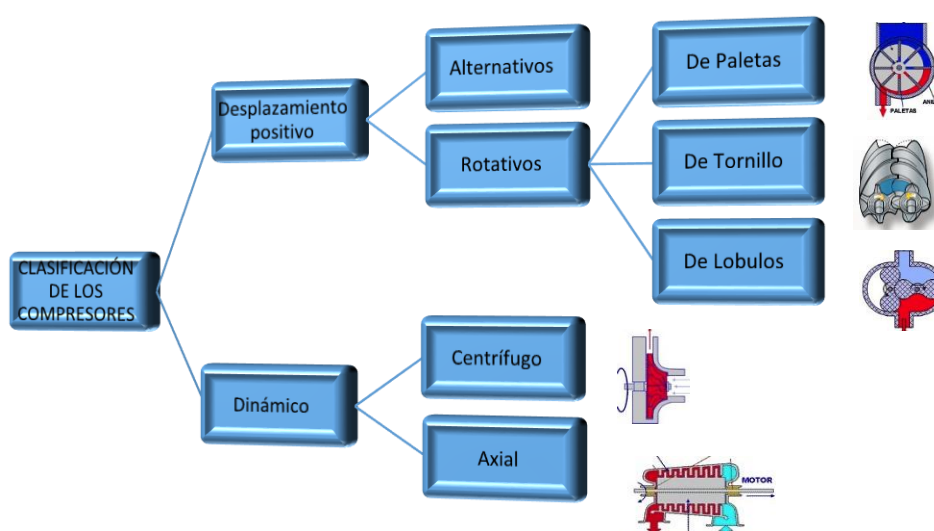


Figura 3.12 Clasificación de los compresores

En esta sección se analizarán los tipos de compresores rotativos más utilizados en la práctica industrial como se detallan a continuación:

- De paletas deslizantes.
- De tornillos o rotor helicoidal.
- Los soplantes de lóbulos.

Compresores de paletas.

El compresor de paletas está conformado básicamente de un rotor con paletas instaladas excéntricamente, por lo tanto al girar este rotor, la fuerza centrífuga generada hace que las paletas apoyen contra la carcasa, haciendo que el aire quede atrapado y de esta manera comprimiéndose.

En la figura 3.13 se puede apreciar las partes de un compresor tipo paletas

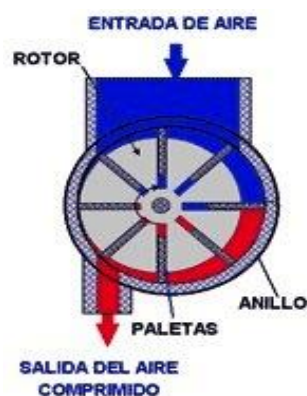


Figura 3.13 Compresor de paletas.

Fuente [21]

Compresores de tornillo.

Este tipo de compresor utiliza dos tornillos helicoidales (sinfines) de ejes paralelos acoplados entre sí, girando dentro de una carcasa. Estos tornillos helicoidales al ir girando, van comprimiendo el aire que se queda atrapado entre dos filetes consecutivos, y este aire es desplazado hasta el otro extremo de la salida de los sin fines.

En la figura 3.14 se puede apreciar las partes internas de un compresor tipo tornillo.

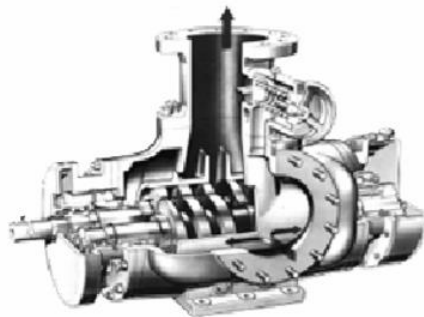


Figura 3.14 Compresor de tornillo.

Fuente [11]

El espacio entre los dos filetes de acoplamiento de cada sin fin que contiene el aire, reduce su volumen al llegar a la pared posterior de la cámara, antes de descubrirse la lumbrera de escape.

En la figura 3.15 se puede apreciar como el aire es comprimido y desplazado por los tornillos sin fines.

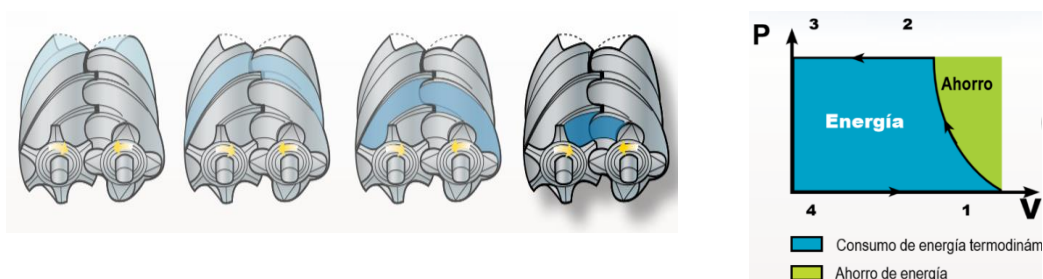


Figura 3.15 Compresor de tornillo

Fuente [1]

Donde:

4 → 1: Aspiración. El aire entra en la cámara de compresión.

1 → 2: Compresión. El volumen del aire disminuye a medida que los rotores giran.

2 → 3: Descarga. El aire se descarga en la tubería.

Compresores tipo lóbulos.

Los compresores tipo lóbulos, también conocidos como "compresores Roots", están conformado de dos rotores en forma de ocho, acopladas entre sí de manera simétrica que giran en sincronización por engranajes, ubicado dentro de carcasa envolvente , dejando espacios muy estrechos

con las paredes, el cual el aire atrapado en estos espacios y es impulsado hasta la salida .

Estos equipos generan poca compresión de aire, la cual se debe directamente al movimiento de los lóbulos.

En la figura 3.16 se puede apreciar los tipos de compresores según el número de lóbulos.

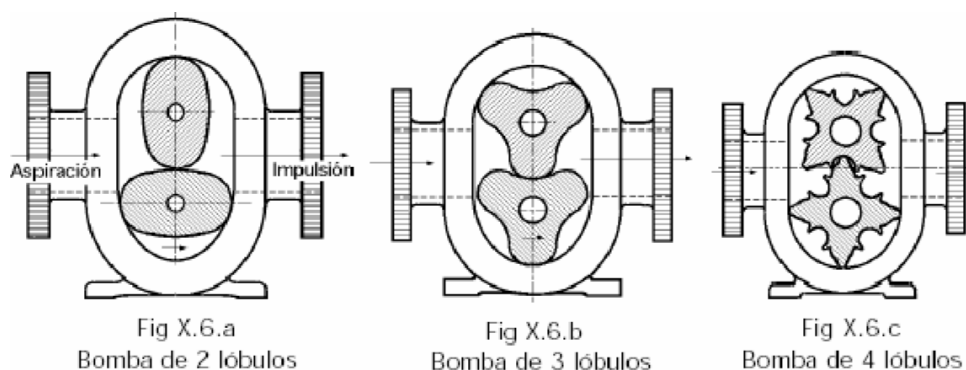


Figura 3.16 Tipos de compresores según el número de lóbulos.

Fuente [11]

Cabe indicar que para un eficiente funcionamiento se requiere de fuertes cojinetes y robustos ejes, para soportar los fuertes empujes laterales perpendiculares al eje, las cuales son generados por la diferencia de presiones entre las dos caras de cada rotor.

En la figura 3.17 se puede apreciar el desplazamiento del aire en el interior de los lóbulos.

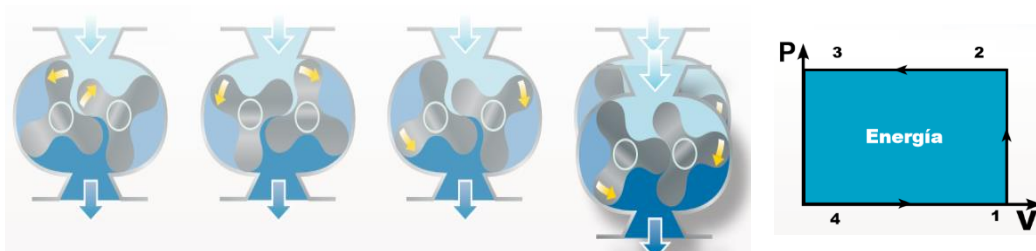


Figura 3.17 Desplazamiento del aire.

Fuente [1]

Donde:

4 → 1 : Aspiración . El aire entra en la cámara de compresión, el volumen del aire permanece constante mientras giran los rotores del lóbulo.

1 → 2: Compresión externa. El aire se comprime externamente debido a la contrapresión de la tubería conectada.

2 → 3: Descarga. El aire se descarga en la tubería.

Compresores centrífugos.

Son equipos que principalmente están compuesto por un grupo de aspas (álabes) que giran junto en un mismo eje común, y que gracias a una

amplia entrada del aire esta es absorbida y acelerada debido a la fuerza centrífuga generada por las aspas.

Sus diseños no son de tipo volumétrico, es decir de que no desplazan un volumen de gas por unidad de tiempo constante, en donde el flujo de ingreso es de manera axial y el de salida es de manera radial.

En la figura 3.18 se puede apreciar el flujo de entrada y de salida.

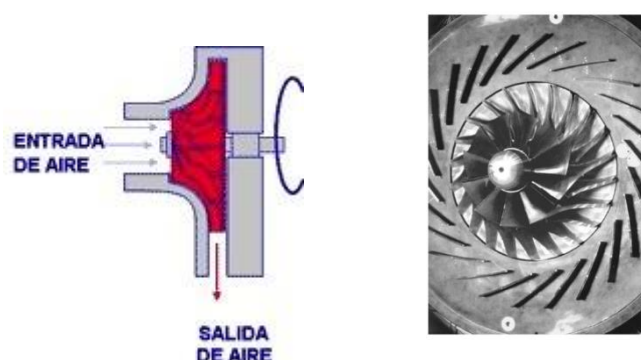


Figura 3.18 Compresor Centrífugo.

Fuente [11]

Para la selección del compresor hay que considerar los porcentajes por desgastes de equipos, fugas o por expansión del sistema y que la caída de presión entre el secador, filtros y tuberías no se deberá exceder de 1,5 bar.

En la Tabla 3.11 se puede apreciar las pérdidas de presión que generan algunos componentes en un sistema neumático.

Tabla 3.11 Pérdidas de presión de componentes.

Refrigerador posterior de agua	0,09 bar
Refrigerador posterior de aire	0,09 bar
Secador frigorífico	0,20 bar
Secador adsorción	0,30 bar
Separadores cerámicos	0,10 bar
Red de tuberías	0,14 bar
Filtros en general	0,15 bar

Fuente [11]

En la Tabla 3.12 se puede apreciar los datos de presión y caudal para cada línea de aire comprimido en la Planta.

Tabla 3.12 Datos de presión y caudal en la planta

DESCRIPCION	CAUDAL (CFM)	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (BAR)
Línea 1	277,21	85	5,8
Línea 2	278,05	85	5,8
Línea 3	278,05	85	5,8
Línea 4	278,05	85	5,8

Con todo lo anteriormente mencionado se procederá a calcular la presión con la cual se seleccionará el compresor.

$$\text{Presión de línea} = 5,8 + 1,5 = 7,3 \text{ bar}$$

En la Tabla 3.13 se muestra las presiones de trabajo y caudal para de esta manera seleccionar el compresor indicado.

Tabla 3.13 Tabla de resultados de presión de trabajo

DESCRIPCION	CAUDAL (CFM)	PRESIÓN (BAR)
Línea 1	277,21	7,3
Línea 2	278,05	5,8
Línea 3	278,05	5,8
Línea 4	278,05	5,8

Para el presente proyecto, y utilizando la Tabla 3.14, se selecciona un compresor tipo tornillo Kaeser, modelo CSD102 SFC, con una sobre presión operativa de 10 bares, con un rango de caudal de operación de 1,90-8,95 m^3/min , máxima sobre presión operativa de 11 bares y una potencia nominal de 55 kW.

Tabla 3.14 Características técnicas de compresor Kaeser

Versión T con secador frigorífico integrado (refrigerante R 134 a)							
Pot. nominal del motor	Modelo	Sobrepr. máx. de servicio	Caudal *) Unidad compl. a sobrepr. de servicio	Sobrepr. máx.	Potencia absorbida secador frigorífico	Nivel sonoro**)	Peso
kW		bar	m ³ /min	bar	kW	dB(A)	kg
		7,5	5,65	8			
30	BSD 62 T	10	4,45	11	0,8	68	1200
		13	3,60	15			
		7,5	7,00	8			
37	BSD 72 T	10	5,60	11	0,8	68	1245
		13	4,40	15			
		7,5	8,15	8			
45	BSD 81 T	10	6,80	11	1,1	70	1350
		13	5,43	15			
		7,5	8,25	8			
45	CSD 82 T	10	6,90	11	1,1	69	1460
		13	5,50	15			
		7,5	10,20	8			
55	CSD 102 T	10	8,20	11	1,1	69	1510
		13	6,75	15			
		7,5	12,00	8			
75	CSD 122 T	10	10,05	11	1,4	71	1540
		13	8,07	15			
		7,5	13,70	8			
75	CSDX 137 T	10	11,86	11	2,2	72	2250
		13	9,88	15			
		7,5	16,10	8			

Fuente [7]

CAPÍTULO 4

4.- Análisis económico de un sistema de aire comprimido.

El aire comprimido debido a su gran gama de usos, es uno de los servicios de aplicación más utilizados en las industrias, como por ejemplo para trabajos de limpieza, transportadores, activador de herramientas neumáticas, etc, los cuales son capaces de poderse mezclar otros fluidos y productos, ayudando de esta manera en la mantención de los equipos.

En la actualidad también se lo está utilizando en diversas áreas de la robótica, por lo tanto tiene mucha participación en forma intensa en las pequeñas y grandes industrias.

Generalmente este costo no está relacionado a los de producción, a pesar de que aplica un cierto porcentaje del mismo, por lo que resulta ser mucho más caro que la electricidad, agua y GLP.

Por lo general un sistema de aire comprimido tiene una vida promedio entre 10 a 15 años, y sus gastos se dividen en un 83% de electricidad, 13% en inversión de capital y 4% en mantenimiento tal como se lo puede apreciar en la figura 4.1.



Figura 4.1 Circulo porcentual

El aire comprimido se genera de manera directa en las instalaciones del usuario, permitiendo esto tener elementos de control para su adecuada y eficiente utilización.

El presente proyecto de graduación se centrará en los costos de material, mano de obra y al costo por metro cubico de nuestro sistema de aire comprimido.

4.1.- Costo de material.

En el presente proyecto se realizará un estudio de costo en el cual se analizarán los costos de mano de obra, materiales y el respectivo costo por metro cúbico de aire comprimido.

A continuación en la Tabla 4.1 se puede apreciar el presupuesto del material que se va a utilizar para la implementación del sistema neumático requerido.

Costo de materiales:**Tabla 4.1 Presupuesto de materiales.**

Presupuesto de materiales					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo (\$)
1	tubo 1 in cedula 40	unidad	15	28,6	429
2	tubo 4 in cedula 40	unidad	13	78,08	1015,04
3	Codo roscado 4in 150 lb	unidad	16	6,9	110,4
4	unión universal de 4in	unidad	12	29,13	349,56
5	unión universal de 1 in	unidad	16	6,5	104
6	unión universal de 1,5 in	unidad	4	8	32
7	válvula de esfera 4 in	unidad	12	52	624
8	válvula de esfera 1 in	unidad	19	12,8	243,2
9	T de 4 in	unidad	27	8,4	226,8
10	bushin 2 in a 1,5 in	unidad	24	2,75	66
11	bushin 4 in a 2 in	unidad	24	3,9	93,6
12	bushin 1,5 in a 1 in	unidad	8	2,25	18
13	flitro festo de 1,5in de 0,01micras	unidad	4	285	1140
14	flitro festo de 1,5in de 0,1 micras	unidad	4	250	1000
15	ángulo 2 in x 3/16 in	unidad	4	18,57	74,28
16	Construcción de rosca	unidad	80	2,5	200
17	soldadura	kg	3	25	75
18	pintura acabado azul	galón	2	22	44
19	desoxidante	galón	2	19	38
20	Primer anticorrosivo	galón	2	26	52
21	Fungibles	unidad	1		150
	Total:				\$ 6084,88

4.2.- Costos de mano de obra.

El costo de la mano de obra refleja el costo físico y mental que desempeñan todas las personas que intervienen en el proyecto, la cual tiene que estar bien fundamentada de acuerdo al código laboral.

La mano de obra puede clasificarse como:

- Mano de obra directa.
- Mano de obra indirecta.

La mano de obra directa, es aquella que influye directamente en el proceso de fabricación, mientras que la mano de obra indirecta, es aquella que interviene en un proceso previo para la fabricación de un componente del proceso el cual ya está elaborado.

Para el presente proyecto de graduación, el costo de mano de obra directa para el respectivo montaje de los 4 circuitos del sistema de aire comprimido (contrato), contará con los siguientes profesionales:

- Ingeniero en seguridad física.
- Ingeniero de proyecto residente de obra.
- Armador
- Soldador de primera categoría.

- Ayudantes con conocimientos en trabajos de tubería y en seguridad física.

Mientras que la mano de obra indirecta está conformado por:

- Construcción de manenfor.
- Alquiler de andamios.

En la Tabla 4.2 se puede apreciar el presupuesto del mantenimiento de las 4 unidades compresoras.

Tabla 4.2 Presupuesto de mantenimiento.

Mantenimiento					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Refrigerante X-Tend de unidad compresora	galón	6	26,58	159,48
2	Filtro de aire de la admisión	unidad	1	68,93	68,93
3	Filtro separador de aceite de unidad compresora	unidad	1	135,54	135,54
4	Mano de obra parte eléctrica	varios	1	120	120
5	Mano de obra parte mecánica	unidad	1	180	180
6	Gastos varios	varios	1	100	100

Subtotal :	\$ 763,95
IVA:	\$ 91,67
Total por equipo:	\$ 855,62
Total (4 equipos cada 2 meses) :	\$ 3,422.50
Total (4 equipos mensual) :	\$ 1,711.25

En la Tabla 4.3 se puede apreciar los gastos de mano de obra directa para el montaje de los 4 circuitos abiertos para el sistema del aire comprimido.

Tabla 4.3 Gastos de mano de obra directa.

Gasto de mano de obra directo			
Descripción	Cantidad	Costo unitario/día (\$/d)	Costo/día (\$/d)
Ingeniero de proyectos	1	65	65
Ingeniero en seguridad física	1	50	50
Armador	1	40	40
Soldador de primera categoría	1	30	30
Ayudante	3	18	54
Secretaria	1	18	18

Total :	\$ 257,00
----------------	------------------

En la Tabla 4.4 se puede apreciar los gastos operativos para el montaje de los 4 circuitos abiertos para el sistema del aire comprimido.

Tabla 4.4 Gastos operativos.

Gastos operativos			
Descripción	Cantidad	Costo unitario/día (\$/d)	Costo/día (\$/d)
Alimentación	7	5	35
Luz	0,095	50	4,75
Agua	0,05	40	2
Internet	3	18	54

Total :	\$ 95,75
----------------	-----------------

En la Tabla 4.5 se puede apreciar los costos por equipos.

Tabla 4.5 Costos de equipos.

Costo de equipos					
Descripción	Marca	Modelo	Costo (\$/u)	Cantidad	Costo (\$)
Compresor	Kaeser	CSD102 SFC	16450,25	4	65.801,00
Secador	Kaeser	TD 76	2850,5	4	11.402,00

Total :	\$77.203,00
----------------	--------------------

En la Tabla 4.6 se puede apreciar los costos de depreciación anual y mensual.

Tabla 4.6 Tabla de depreciación.

Depreciación de los equipos			
Descripción	Compresores (4 equipos)	Secadores (4 equipos)	Toda la red
Valor del equipo (\$)	65801	11402	6084,88
Vida útil (años)	15	10	5
Depreciación anual (\$)	4386,73	1140,20	1216,98
Depreciación mensual (\$)	365,56	95,02	101,41

Total anual :	\$ 6.743,91
Total mensual :	\$ 561,99

Con los datos obtenidos en las tablas de características técnicas, tanto del compresor como del secador seleccionado, se procederá a calcular el costo del consumo energético.

Sabiendo que el compresor CSD102 SFC trabajará a una potencia nominal del motor de 55 kW , además que el secador TD 76 trabajará a una potencia efectiva de 1,4 kW, y que el costo del costo kW-h es de \$0,08, entonces procederá a realizar la Tabla 4.7 donde se puede apreciar el consumo energético .

Tabla 4.7 Consumo energético.

Consumo de energía				
Equipos	Consumo (Kw)	Tiempo de trabajo del equipo (Horas)	costo KWh (\$)	Costo KW/día (\$)
Compresor	55	19	0.08	83.6
Secador	1.4	19	0.08	2.128

Total por unidad diario :	\$ 85.73
Total de las 4 unidades diario :	\$ 342.91
Total de las 4 unidades mensual :	\$ 7,544.06

4.3.- Costo del metro cúbico de aire comprimido producido.

Para el presente proyecto se realizó un estudio de costos, el cual con los datos obtenidos del consumo energético, depreciación y mantenimiento de los equipos, se procederá a calcular el costo por metro cúbico de aire comprimido.

Sabiendo que el compresor CSD102 SFC genera un caudal de 8,20 m³/min entonces el costo del metro cubico se lo calculará con la ecuación (4.1):

$$\$/m^3 = (\$C.E + \$D + \$M) / ((D.T) * (H.T) * Q * 60) \quad (4.1)$$

Donde:

\$C.E: Costo del consumo de energía.

\$D: Costo de depreciación.

\$M: Costo de mantenimiento.

D.T: Días de trabajo del equipo.

H.T: Horas de trabajo.

Q: caudal en m³/min.

Una vez determinado todos los datos se procederá a calcular el costo del metro cúbico.

$$\$/m^3 = (7544,06 + 561,99 + 1711,25) / (22 * 19 * 8,20 * 60)$$

$$\$/m^3 = \$ 0,048 / m^3$$

A continuación en las Tablas 4.8 y 4.9 se detallan los resúmenes de costos.

Tabla 4.8 Tabla de resumen de costos.

Descripción	Valor
Consumo energético :	\$ 7,544.06
Depreciación :	\$ 561.99
Mantenimiento :	\$ 1,711.25
Total :	\$ 9,817.31
\$/min	0.39
costo del m³ del aire producido :	\$ 0.048

Tabla 4.9 Tabla de resumen de inversión.

Tabla de resumen de inversión	
Descripción	Valor
Materiales	\$ 6.084,88
Mano de obra directa.	\$ 5.397,00
Costo del diseño del sistema de aire comprimido	\$ 1.349,26
Costo de equipos	\$ 77.203,00
Gastos operativos	\$ 2.010,75
Total :	\$ 92.044,89

A continuación en la figura 4.2, se puede apreciar la programación de los trabajos para la instalación del sistema neumático.

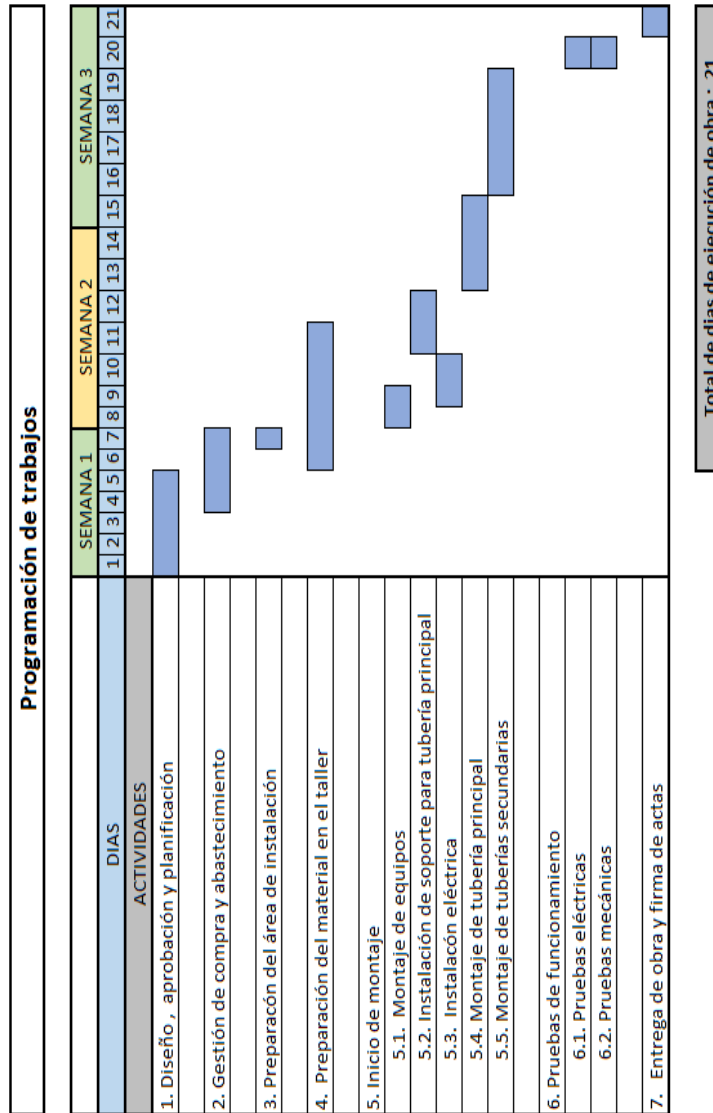


Figura 4.2 Programación de actividades

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones.

En el análisis realizado, se comprobó que en cada red de distribución de aire comprimido, trabajará con un compresor, un tanque pulmón y unidades de filtros para el tratamiento del aire, la cual generará un caudal de demanda de 463,98 m³/hora con una presión de trabajo de 7,3 bares, necesarios para que los equipos y/o herramientas neumáticas trabajen de manera eficiente.

Las 4 unidades de generación del aire comprimido están interconectadas por medio de un by pass, para de esta manera garantizar la continuidad de la producción, en el caso una unidad de generación de aire comprimido falle o se lo paralice para realizar su respectivo mantenimiento.

De acuerdo a todos los parámetros exigidos en el presente proyecto de graduación, se concluye que todos los equipos, elementos del sistema y accesorios fueron debidamente seleccionados, cumpliendo con las normas pertinentes para su correcta y eficiente operación, garantizando de esta manera el crecimiento de la producción.

Los filtros de aire de 0,01 micras y 0,1 micras fueron debidamente seleccionados, después de haberse realizado un análisis del diseño con los manuales técnicos Festo y Atlas Copco, debido a que se utilizarán máquinas de calidad de aire media.

Recomendaciones.

Se recomienda que al aire comprimido generado se le realice un tratamiento adecuado para la obtención de una buena calidad de aire por medio de filtros, secador por refrigeración, válvulas para purga del agua de condensación.

Se recomienda que las tuberías de distribución principal de cada línea del sistema de aire comprimido tenga una pendiente del 1 al 2% de la longitud total de la trayectoria, en el mismo sentido del flujo del aire comprimido

para la evacuación del agua de condensación, la cual al final de las líneas de distribución deberá ir instalado una válvula para purga.

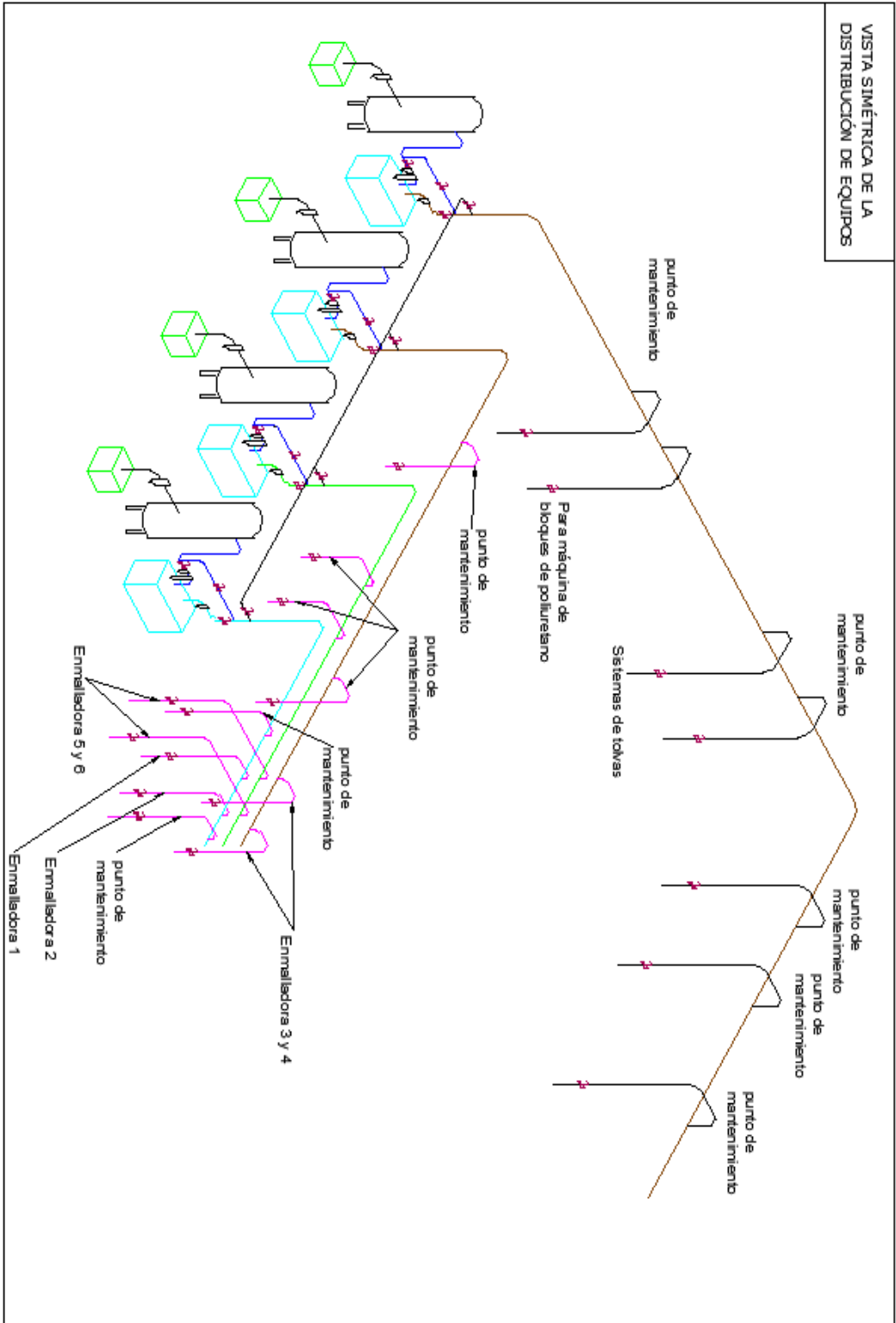
Se recomienda revisar la red de aire comprimido de manera periódica, con una frecuencia semanal, para poder percatarse en el caso de que exista alguna fuga en el sistema.

Las conexiones de las tuberías de distribución con la tubería principal, debe realizarse con la conexión hacia arriba, también llamado este tipo de conexión como cuello de cisne, para de esta manera poder obstaculizar posibles entradas del agua de condensación.

Es recomendable que la pérdida de presión máxima permisible al momento de realizar un diseño de un sistema de aire comprimido, no sobrepase el 2% de la presión del compresor.

Debido a que en época de invierno el aire en el ambiente contiene alta humedad, se recomienda instalar en el tanque pulmón una válvula de purga para la condensación del agua marca Nufors DC con diámetro de entrada de 1/2" con rosca NPT con una temperatura máxima de operación de 50°C con una presión en el sistema de 3 a 16 Bar.

APÉNDICE A : ISOMÉTRICO DEL DISEÑO DE TRAYECTORIA.



BIBLIOGRAFÍA

1. ATLAS COPCO, Aire Comprimido Compresores, N°60, 2010.
2. ATLAS COPCO , Manual de aire comprimido 2011
3. APOLLO VALVES, Catálogo de accesorios neumáticos.
4. CATÁLOGO DIPAC.
5. FESTO, Catálogo De Accesorios, abril 2014.
6. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>
7. KAISER, MANUAL DE COMPRESORES KAISER, Kaiser compresores de Argentina SRL 2005.
8. NORMEN, Manual de accesorios Neumáticos.
9. ORTIZ ZAPATA DIEGO, VILLACÍS VIZCAÍNO JUAN “Rediseño Del Sistema De Almacenamiento, Tratamiento Y Distribución De Aire Comprimido Para El Área De Pinturas Y Resinas De La Fábrica De Pinturas Cóndor S.A.” (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, 2009).
10. SPIRAX SARCO , Manual De Accesorios Neumáticos, Buenos Aires – Argentina, 2003
11. UNIVERSIDAD DE OVIEDO, Instalación de Aire Comprimido, 2006.

12. www.alfalaval.com
13. www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/wp-content/uploads/2013/06/compresores04.jpg
14. www.construsur.com.ar/Article248.html
15. www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml
16. www.monografias.com/trabajos31/aire-comprimido/aire-comprimido.shtml
17. www.mundocompresor.com/frontend/mc/La-Filtracion-En-Las-Lineas-De-Aire-Comprimido-vn3044-vst27_
18. www.mundocompresor.com
19. www.sapiensman.com/neumatica/images/neumat37.jpg
20. www.sapiens.itgo.com/neumatica/
21. www.widman.biz/boletines/56.html