



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Plan de mejora del sistema de aire comprimido en una Empresa de rubro
Metalmeccánica para aumentar capacidad y reducir costos

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Br. Félix Antonio Ramírez Valles (ORCID: 0000-0001-6533-5299)

Br. Jhon Albert Azabache Chinchayan (ORCID: 0000-0003-3136-4651)

ASESOR:

Mg. Raúl Paredes Rosario (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación y Distribución de Energía

TRUJILLO – PERÚ

2019

Dedicatoria

A Dios.

Por permitirnos seguir avanzando profesionalmente y otorgarnos la salud y la vida gracias a su infinita misericordia, amor y bondad.

A nuestros padres.

Son fuente de inspiración y las fuerzas que nos brindan día a día para luchar en esta sociedad y poder brindarles lo mejor.

Agradecimiento

En primer lugar dar gracias a Dios bendecirnos,
Guiarnos y darnos la posibilidad de llegar a
Culminar con éxito esta etapa de
Nuestras vidas profesionales.

A nuestros familiares, por brindarnos el apoyo y
motivación necesaria para lograr este sueño
profesional.

Página del Jurado

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

Declaración De Autenticidad

Nosotros, Ramírez Valles, Félix Antonio ; con DNI: 44290100, y Azabache Chinchayan, Jhon Albert, con DNI:47033393 a efectos de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto en los documentos como de información aportada por lo cual me sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, diciembre 2019



Azabache Chinchayan Jhon Albert
DNI: 47033393



Ramirez Valles Félix Antonio
DNI: 44290100

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad.....	vi
Índice.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Trabajos previos	3
1.3 Teorías relacionadas al tema	7
1.4 Formulación del problema	23
1.5 Justificación del estudio	23
1.6 Hipótesis.....	23
1.7 Objetivos	24
II. MÉTODO	25
2.1. Tipo y diseño de investigación	26
2.2. Operacionalización de variables.....	27
2.3. Población y muestra	28
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	28
2.5. Procedimiento.....	29
2.6. Métodos de análisis de datos.....	30
2.7. Aspectos éticos.....	30
III. RESULTADOS.....	31
3.1 Auditoria del sistema neumático. Capacidad (Nm ³ /min)	32
3.2 Determinación de mejoras del sistema neumático	47
3.3 Análisis económico.....	55
IV. DISCUSIÓN	58

V. CONCLUSIONES	61
VI. RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	66
ANEXOS	69
Anexo 1: Compresor a pistón con tanque de almacenamiento	70
Anexo 2: Partes de compresor a pistón	71
Anexo 3: Tabla selección de compresor a pistones	72
Anexo 4: Válvulas de diafragma para aire comprimido	73
Anexo 5: Válvula de paso recto para aire comprimido.....	74
Anexo 6: Características de válvula de paso recto.....	75
Anexo 7: Gráfico de presión y temperatura para válvulas de aire comprimido.....	76
Anexo 8: Coeficientes de capacidad para válvulas de paso recto	77
Anexo 9: Instalación típica de compresor a tornillo, fuera de taller	78
Anexo 10: Diagrama unifilar arranque y control de compresor a tornillo	79
Anexo 11: Esquema de flujo del sistema de enfriamiento de compresor a tornillo.....	80
Anexo 12: Diagrama de filtro de entrada y tubería.....	81
Anexo 13: Diagrama de flujo del sistema de aire comprimido.....	82
Anexo14: Diagrama de flujos incluye tanque almacenamiento aire comprimido.....	83
Anexo 15: Tanque de almacenamiento y tubería de purga y limpieza	84
Anexo 16 :Pre filtro, secador con by pass.....	85
Anexo 17: Secador con post filtro de aire comprimido	86
Anexo 18: Tanque de aire comprimido seco.....	87
Anexo 19: Recomendaciones para calidad del agua de enfriamiento.....	88
Anexo 20: Formato de registro de mantenimiento del sistema de aire comprimido.....	89
Anexo 21: Tablas Lingelier de valores para el agua de enfriamiento.....	90
Anexo 22: Tablas de conductores trifásicos.....	91
Anexo 23: Capacidad de tuberías de aire comprimido.....	92

Anexo 24: Caída de presión en líneas de aire comprimido	93
Anexo 25: Tablas de contenido de humedad en el aire	94
Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis	98
Reporte Turnitin	100
Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV....	101
Acta de Versión Final del Trabajo de Investigación	103

Índice de Tablas

Tabla nr.1: Operacionalización de variables. Elaboración propia.....	27
Tabla nr.2: Instrumentos de evaluación, elaboración propia.....	28
Tabla nr.3. Dimensiones de tubos de acero sin costura ASTM A 53.....	41
Tabla nr.4: Longitud equivalente de accesorios de tuberías	45
Tabla nr.5: Características de conductor trifásico THW – 90 en baja tensión.....	52
Tabla nr.6: Inversiones en activos e insumos.....	55

Índice de Figuras

Figura nr.1: Medición de parámetro eléctrico del motor	35
Figura nr.2: Red actual del aire comprimido en la empresa metalmecánica.....	38
Figura nr.3: Diagrama isométrico de la red actual del aire comprimido en la empresa	46
Figura nr.4: Esquema de cálculo conductor para motor trifásico... ..	53
Figura nr.5: Red actual del aire comprimido en la empresa metalmecánica.....	54

RESUMEN

Se presenta el trabajo de investigación para diseñar un plan de mejora del sistema de aire comprimido en la empresa de rubro metalmecánica con el objetivo de aumentar su capacidad y disminuir costos de operación y mantenimiento.

En el capítulo I se presenta la realidad problemática, expresada por existir limitación productiva debido a la reducción de la capacidad del sistema neumático actual, los antecedentes que permiten analizar la forma en que han sido evaluados problemas de investigación similares y los resultados obtenidos, también se presentan los conceptos y teorías de redes de aire comprimido necesarias en el análisis y la elaboración del plan de mejora para aumentar capacidad productiva y reducir costos.

En el capítulo II se muestra el método a aplicar en los objetivos específicos, en base a las técnicas de evaluación del método científico, y de la investigación, los instrumentos de evaluación, así como el procedimiento.

En el capítulo III, de resultados, se aplica el análisis de ingeniería, determinando el estado actual y estableciendo el plan de mejora, que consiste en dimensionar y seleccionar equipos tecnológicos de aire comprimido modernos, más eficientes que los actuales que forman parte del plan racional de mejora de la red de aire comprimido, con el principal objetivo de aumentar en 50 % la capacidad actual de la red neumática, en su parte última se hace la evaluación económica, que arroja un resultado positivo, pues el retorno de lo que se invirtió es atractivo.

En el capítulo IV se presentan la discusión de resultados, con un análisis de la correlación de parámetros y su impacto en los resultados, las conclusiones en las que se demuestra el cumplimiento de los objetivos específicos y recomendaciones para darle mayor precisión y las medidas técnicas para sostener los resultados, en base a mejor mantenimiento.

Palabras claves: Red de aire comprimido, capacidad, plan de mejor.

ABSTRACT

The research work is presented to design a plan to improve the compressed air system at empres metalmeccanica with the objective of increasing its capacity and reducing operation and maintenance costs

Chapter I presents the problematic reality, expressed as there is a productive limitation due to the reduction in the capacity of the current pneumatic system, the background that allows analyzing the way in which similar research problems have been evaluated and the results obtained, also they present the concepts and theories of compressed air networks necessary in the analysis and elaboration of the improvement plan to increase productive capacity and reduce costs.

Chapter II presents the method to be applied in the specific objectives, based on the evaluation techniques of the scientific method, and of the research, the evaluation instruments, as well as the procedure.

In Chapter III, on results, the engineering analysis is applied, determining the current state and establishing the improvement plan, which consists in sizing and selecting modern compressed air technological equipment, more efficient than the current ones that are part of the rational plan of improvement of the compressed air system, with the main objective of increasing by 50% the current capacity of the pneumatic network, in its last part the economic evaluation is carried out, which yields a beneficial result the investment, since the period of return of the Investment is attractive.

Chapter IV presents the discussion of results, with an analysis of the correlation of parameters and their impact on the results, the conclusions in which compliance with the specific objectives and recommendations to give greater precision and technical measures to demonstrate sustain the results, based on better maintenance.

Keywords: Compressed air network, capacity, improvement plan.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

El uso del aire comprimido en las empresas están ampliamente expandido, también en actuaciones variadas, como el accionar de las máquinas herramientas, actuadores de válvulas, maquinaria, desmoldeadores de piezas, etc. (NTP631, 2003). En todo el mundo, se aproxima que el 90% de todas las empresas fabricantes usan el aire comprimido de diversas formas en sus procesos de producción. (Silvent, 2016).

La empresa, se dedica al rubro de fabricación de estructuras automotrices, buses, servicios y trabajos del rubro metalmecánico en general, por lo cual se debe tener buen sistema de aire, para poder cumplir con los compromisos de entrega y por el cuidado de los equipos y herramienta. La compañía cuenta con locales especializadas en diferentes tipos de trabajos, dentro del proceso de producción de buses: ensamblado, pintura, soldadura y acabados.

Su infraestructura, dispone de diversos tipos de equipamiento, neumático, hidráulico, mecánico, eléctrico cómo: máquinas de soldar, compresoras, prensas, cizallas, equipos de cómputo, etc.

En la empresa, se cuenta con 1compresor a pistón de 3.5hm/min este equipo tiene más de 15 años de servicio continuo y alimentan a los dispositivos neumáticos de la red interna como son atornilladores, martillos remachadores, taladros.

El aire comprimido es un agente de trabajo fundamental en la empresa, pues asegura una buena productividad, seguridad de las operaciones de montaje/desmontaje de las partes principales como son: chasis, motor, dirección, etc.

Es el caso que, debido a que la empresa se aplica mantenimiento correctivo, y no hay un departamento responsable de mantenimiento, los equipos no trabajan con su capacidad, precisión y calidad por lo que fueron construidos; se observan que ha reducido la capacidad de generación de aire (demora en llenar el tanque), también ya no genera la presión nominal, que es de 10 bar, ahora solamente alcanza 8.5 bar, además, se ha observado aceite y agua en el aire que llega a los consumidores. Todo esto causa retraso en las operaciones de

producción, debe trabajar con horas extras. Según la empresa, hasta inicios del 2015, operaba un solo compresor, ahora con las mismas operaciones, deben trabajar 2, causando mayor costo de operación.

Por lo mencionado, se propone llevar a cabo el estudio de investigación. Donde mejora la calidad, capacidad y costos del aire comprimido en la empresa de rubro metalmecánica.

1.2 Trabajos previos

Revisando estudios relacionados a la presente investigación, se tiene a los siguientes autores:

Palma (2017), indica que la empresa Camposol SA, el aire comprimido es usado en distintas áreas tales como: conserva de espárragos (secado de latas y frascos de conservas), en el área de frutas frescas (accionando pistones para etiquetarlo) y en el área de arándanos (accionando los cilindros neumáticos de las maquinas llenadora para vaciar el producto). A partir del año 2015, el área de calidad en reiteradas oportunidades ha emitido informes sobre arrastre de aceite en las áreas mencionadas, afirmando que se encontró restos de partículas de aceite en latas y frascos de conserva del producto terminado, también se ha detectado presencia de aceite excesivo en los cilindros neumáticos ocasionando fugas que entraron en contacto con los arándanos, a pesar que cuenta con unidades de mantenimiento. Todo esto conlleva a pérdidas económicas a la dicha empresa y retraso de pedidos. Son los motivos que palma propone realizar un estudio del sistema del aire comprimido para determinar correcciones necesarias del sistema actual de aire comprimido y evitar residuos de aceite.

Palma concluyo el consumo real del aire comprimido de la compañía, resultando ser de 402.6 cfm (pie cúbico por minuto).

Propuso la instalación de un nuevo filtro de carbón activado marca sullair modelo FXC-475 para la zona de frutas fresca y unidades de mantenimiento marca Festo modelos MSB4 según norma ISO 8573.

También analizo el diseño de tuberías en cuanto al tipo de material y tipo de instalación que permita minimizar los residuos de aceite, siendo el aluminio el más óptimo, pero por tiempo y costo, deja el mismo material galvanizado que actualmente cuenta la instalación. Tipo de instalación es la correcta (anillo).

Según las propuestas del rediseño, se puede optar por la compra del nuevo compresor libre de aceite marca Sullair modelo DA-150.

También verifico los diámetros de la tubería de toda la red y no se modificara las dimensiones el manifold ya que el sistema actual no conlleva a riesgos de arrastre de aceite, al contrario ayuda a retener más residuos de aceite, los cuales se pueden purgar manual o automáticamente

Vimos (2017), indica que la empresa de aire y servicios “AISER S.A”, que presta servicios de mantenimiento y reparación de compresores de aire comprimido ya sea de pistón o tornillo y también realiza estudios de consumo de aire en diferentes industrias y venta de accesorios, requiere el control y seguimiento de plan de mantenimiento que logre eliminar las paradas no programadas a las empresas que presta el servicio, también que la importación de los repuestos es muy lento, ya que en el mercado no se obtiene con facilidad. El personal de mantenimiento que está conformado por 10 personas no lleva un cronograma historial de reparación, ni tampoco una ficha técnica de cada equipo que se repara, ocasionando el retraso en reparación, dicha empresa pierde alrededor de 10.000 dólares mensuales, también propone la adquisición de nuevos compresores de tornillo de aire comprimido, que servirá contrarrestar las paradas no programadas en las empresas más las capacitaciones para el personal.

El autor realiza la mejor propuesta que sería la contratación de un Ing. con conocimiento en mantenimiento que será el encargado de llevar un historial de estadísticas de mantenimiento y revisar mensualmente el inventario de los repuestos, esta contratación más la ayuda de todo el personal hará que la empresa obtenga beneficios económicos, que no solo serán para AISER sino para todos sus colaboradores.

Vera (2018), indica que es necesario un dimensionamiento de las instalaciones de aire comprimido para laboratorio de neumática, ya que dicho laboratorio hace más de 8 años operaba con tres compresores de 1 hp, en la actualidad por falta de mantenimiento uno de los compresores de encuentra fundido por los cuales se dificultan el desarrollo de las practicas, ya que con cada compresor se desarrollaba ejercicios de neumática en dos lados de un tablero.

Siendo como objetivo principal la instalación de tuberías que alimenten a tres tableros más una tubería agregado con un ramal a dos tomas de aire comprimido.

Vera concluye que el compresor adecuado para dicha instalación, es el compresor de pistón ya que posee una cámara de succión también de compresión que está separada del lubricante del compresor, librando que se contamine el aire. También que el dimensionamiento e implementación de más equipos facilitará en la enseñanza práctica en la asignatura de neumática y electro neumática.

Soto (2005), indica que tiene problemas en su actual red de aire comprimido, donde se reportaron que se encontraron aire húmedo (0.0017 kg de vapor de agua / kg de aire seco), también la pérdida de presión (aproximadamente de 4.1 bares), ocasionando paradas no programadas, siendo la demanda actual de la empresa es de 19.447 NI/min y la entrega del compresor es de 10.092 NI/min, es por tal razón que es necesario rediseñar es sistema actual de la red.

Soto llego alcanzar diseñar el sistema de redes de aire comprimido cumpliendo con los factores importantes para obtener buena calidad de aire las cuales son velocidades que estén dentro los rangos permitidos para disminuir la pérdida de carga, para poder eliminar la humedad del aire la selección de los secadores, post enfriador que se encarga también de retirar el agua que se localizaba en el aire, filtros de línea, unidad de mantenimiento (reguladores de presión, filtros y lubricador),

Toasa (2014), reporta que debido a las exigencias del desarrollo tecnológico en el que está inmerso nuestro país, se vio la necesidad de implementar módulos didácticos de simulación que permitan al alumno estar capacitado y poder enfrentar las exigencias que se presentan en el sector productivo. Tiene la finalidad de mejorar el proceso pedagógico proporcionando la fuente de energía necesaria para cada módulo para su funcionamiento óptimo. Propuso como objetivo diseñar e implementar una red de aire comprimido.

El autor diseñó una red de aire comprimido para los laboratorios de automatización y neumática, logrando obtener la presión adecuada para el funcionamiento y conservación de los equipos, a más caudal del aire requerido para el funcionamiento y considerando ampliaciones futuras.

Toasa seleccionó la preparación del aire en base a la calidad requerida, bajo ciertos parámetros para que no afecten a los equipos (tamaño de partículas, humedad, etc.). También sugiere un plan de mantenimiento preventivo y fichas técnicas donde se detallan las actividades a realizarse para una correcta manipulación de los equipos.

Chérrez (2010), reporta que el problema radica en que el compresor actual en dicha empresa tiene una antigüedad de 30 años, dicho compresor y sistema ya cumplieron su vida útil, ocasionando que la presión no sea constante. También se refleja el alto costo en mantenimiento y además algunas partes del equipo ya no existen en el mercado. Algunos de estos factores ocasionan pérdidas económicas y tiempo para la empresa. Es por esa razón necesario rediseñar el sistema de aire comprimido, con un respectivo análisis de costo.

El autor concluye que para la selección del compresor debe ser un reciprocante de 2 etapas, debido que se requiere 30 bares, además; la distribución del aire comprimido tendrá un diseño como red cerrada o anillo para mantener la presión constante.

También propone que el sistema de red de aire comprimido debe estar constituido de filtro de compresor, compresor, secador, filtro de línea, tanque de almacenamiento.

El adecuado material para el sistema de aire es el acero sin costura ASTM 106 O A 53-B de alta presión ya que por precio no se usa el material de acero inoxidable INOX 36.

Castillo (2009), plantea rediseñar el actual sistema de aire comprimido, ya que por la demanda del mercado requiere de dos equipo (sopladores de plásticos) de 1500 m³/h de consumo cada uno. actualmente la empresa tiene 3 sopladores que cada una de ella requiere de consumo de aire comprimido de 420 m³/h y una presión de trabajo de 40 bar, que suministran dos compresores con capacidades de 826m³/h cada una, y a la vez con una torre de enfriamiento que al salir el fluido de cada etapa de compresión tiene una temperatura de 150 °c por lo que pasa a través del enfriador disminuyendo la temperatura a 40 °c, también en la actualidad el sistema no cuenta con manómetros para control de presión, no hay bajante con drenaje que permitan evacuar el vapor de agua condensada, no existen válvulas de retención, etc., es por tal razón que la empresa necesita un rediseño del sistema de aire comprimido teniendo en cuenta ciertos parámetros para una buena calidad del aire.

Se llegó a la conclusión que tomando el punto más crítico de pérdida de presión del actual sistema de aire comprimido es de 4.79%. Esto quiere decir que desde que el aire comprimido sale del compresor, pasa por las principales líneas de alimentación (primaria y secundaria), hasta llegar a la maquina sopladora es de 4.79%.

La inspección de todas las juntas de cordones de soldaduras y juntas bridadas nos permitió que al momento de funcionamiento del sistema de aire comprimido se detecten fugas y poder dar soluciones para evitarlas.

Después de haber agregado algunos antecedentes relacionados al título de la tesis, procederemos al marco teórico.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema

La auditoría, del sistema de aire comprimido se demuestra en la realización de un análisis completo de un sistema y de sus instalaciones para adquirir una data sobre la energía consumida por el mismo y así saber los puntos débiles donde se pierde o se emplea de una manera inadecuada y mencionar medidas de mejora que reduzcan los gastos de energía y mejoren la capacidad energética.

Los principales objetivos de una auditoria energética es defender la integridad de la misma por medio de un estudio exacto, afirmando la viabilidad económica mediante un costo pequeño y asegurar la viabilidad técnica mediante tiempos de realización ajustados. Es necesario conocer el sistema que se va hacer auditoria para proteger la integridad de la auditoria mediante un estudio preciso de cada parte del sistema y su funcionamiento.

El aire comprimido, es empleado en todo ámbito de agencias de procesos de fabricación y productivas debido a su gran capacidad de adaptarse, y con más frecuencia se usa en diversas aplicaciones. La utilización de este medio como fuente principal de energía se remonta desde tiempos A.C. Este fluido está relacionado con algunas propiedades físicas que se debe tener en cuenta brevemente.

Las características del aire son que no tiene olor, color, ni sabor. Además el aire al tener masa, se desprenden las principales propiedades como la compresibilidad; que permite mediante el uso de una fuerza externa disminuir el tamaño donde se encuentra el aire, además se incluye la Elasticidad; que permite al aire recuperar la forma inicial cuando cesa dicha fuerza. Otra propiedad a tener en cuenta es la Difusibilidad; que permite la mezcla homogénea con otro medio gaseoso que no se encuentre saturado.

El aire comprimido es aplicado directamente como elemento de una labor, también como una principal fuente de energía principal para las herramientas neumáticas, motores, actuadores, embragues, también se usa para regular válvulas y sus accesorios

También se emplea para desplazamientos mecánicos, como mecanismo de retención, dispositivo de ubicación, sistema de traslado de material, estampado, prensado y maquinado entre otros.

Al ser empleado como una fuente de energía en las compañías tiene algunas ventajas, comparados con los sistemas hidráulicos, las redes de traslado son más sencillos, además, se pueden centrar la alimentación de todas las aplicaciones neumáticas (compresor central), el cual es imposible con aplicaciones oleo hidráulicas. El traslado del aire comprimido es confiable, lo que es ideal para actividades en lugares con riesgo de detonación o incendio, de todas formas se tiene que ser precavido precaución ante fallas de alta presión.

Los compresores, Estos equipos son los componentes fundamentales para producir aire comprimido. Se trata de equipos que impulsan el aire, vapores o gases, que influyen sobre las disposiciones de la presión. Las características principales de estas máquinas es la presión y el caudal.

Son instalados en lugares adecuados, la utilización de compresores silenciosos y sofisticados concede gran flexibilidad a la instalación. Los compresores tienen su propio refrigerador dentro para el aire comprimido también aceite para refrigerador de la cámara de compresión.

Además es sustancial poner énfasis que, el caudal que se suministra por el compresor debe ajustarse a los gastos generales de los distintos componentes de trabajo de la compañía. En la lista de los compresores, máquinas de aire comprimido como también de utilidades neumáticas, la proporción de generar o consumir el aire acostumbran a mencionar como aire

libre por minuto. En el caso de que no sea así, tendrá que hacerse la transformación para comprender el caudal, preciso que pasa por la red a la presión de trabajo.

La fórmula es el siguiente:

$$Q = Q_p * (P + P_{atm}) / P$$

P = Presión del aire comprimido.

PATM = Presión atmosférica

QP = Caudal de aire comprimido a la presión P.

Q = Caudal de aire libre.

En un sistema de aire comprimido la principal causa por contaminación de aceite está en el compresor. Un compresor de tornillo que se lubrica por aceite tiene la capacidad de 50 dm³/s, incluso por cada semana se inserta 0.16 litros de aceite en el sistema.

El aceite, es utilizado por el compresor para su lubricación, pero cuando se presenta unido al aire comprimido previo a su división, el aceite adquiere un estado inutilizable, esto se debe al estar sometido a altas temperaturas cuando el aire se comprime, el aceite se oxida y se pone ácido y podría considerarse como un contaminante agresivo para el sistema y tiene que ser retirado.

Los filtros de aire, van a eliminar el bastante aceite líquido (junto con agua) abandonando el aire del sistema en condiciones para proveer a la mayor parte de equipos y cilindros neumáticos, pero en procesos establecidos se requerirá aire totalmente que no contenga aceite. Ello afirma que la proporción de aire que requiere tratamiento particular se conserve al mínimo, que permita hacer trabajos en lugares afectados con un filtro reducido, en vez de usar un filtro especial más grande para la integridad de la empresa. (Norgren, 2001).

Los contaminantes, se pueden clasificar en: Agua, Vapor de agua, Partículas sólidas, Aceite, Aerosoles de aceite, Vapor de aceite. Esta clasificación es necesaria para identificar el tipo de filtro que se debe implementar en un sistema de compresión de aire.

Una vez que se tomó en cuenta la totalidad de los contaminantes, se puede definir la calidad del aire en una empresa. Solo con el uso de filtros adecuados y colocados estratégicamente, se podrá mantener unos costos mínimos de mantenimiento y de energía eléctrica. Se debe de

considerar el volumen del aire en cada fase como su dimensionado, el uso de filtros inapropiados es una causa principal de pérdidas económicas por el alto consumo de energía. Uno de los principales contaminantes que existe en los sistemas de red de aire comprimido es el vapor de agua, el cual se inicia al salir del compresor que puede estar en líquida o vapor cuando el aire va enfriándose.

Para que la eliminación del agua en el aire sea eficaz, se debe tener en cuenta que tanto la presión sea mayor y menor la temperatura la cantidad de agua será mayor y de esta manera poder purgar el compresor. Para poder alcanzar este estado en cualquier sistema, es necesario un refrigerador posterior, la cual va conectada a la salida del compresor para disminuir la temperatura a una diferencia del aire que no sea superior a 8°C en relación a la temperatura del agua que ingresa por el refrigerador posterior. Teniendo en cuenta para eliminar de forma eficaz el agua que se encuentra en el sistema se debe tener en cuenta algunos factores, el tamaño adecuado de los filtros para una línea de aire comprimido y la ubicación correcta y con un buen diseño, teniendo en cuenta que no será suficiente para reducir el vapor del agua en el aire.

De la misma manera que en el agua, en algún sistema de aire comprimido hay partículas sólidas, libres del modelo del compresor. Las partículas tienen la posibilidad de producirse desde 4 fuentes principales: Mugre atmosférica succionadas al puerto de ingreso del equipo (compresor), Productos que desgastan, causados por la actividad del agua y de ácidos blandos, que se forman por la acción de gases y el agua, así también succionado el dióxido de azufre por el compresor, donde los artículos de carbono son creados por la actividad del calor de compresión en el aceite que lubrica, o por el deterioro habitual de los anillos de carbono del pistón usados en ciertos modelos de compresores independientes de aceite. Partículas creadas desde la implantación mecánica en medio de los elementos como también de la canalización, incluidas en el sistema de organización del aire.

La fuente primordial de polución por aceite en el sistema de aire comprimido está dentro del compresor. La lubricación del compresor por medio del aceite tiene la capacidad de 50 decímetros cúbicos/segundo puede ingresar al sistema 0.16 litros de aceite a la semana.

El aceite, es usado para lubricar al compresor, pero al aparecer unido con el aire comprimido, ya no se puede usar el aceite. Al estar sujeto a altas temperaturas cuando el aire se comprime, el aceite permanece ácido también oxidado, y se puede considerar un contaminante belicoso

para el sistema, más que un lubricante propio, y debe ser retirado. Los filtros normales de aire retiraran el aceite líquido (al igual que el agua) como permitir el aire que ingrese al sistema esté en buenas condiciones para alimentar a los cilindros neumáticos como también a los equipos, pero en procesos señalados se necesita aire que no contenga aceite. Estas diminutas gotas de aceite están dentro la corriente de aire, son las que provocan superiores inconvenientes poseen una medida que se encuentra entre 0,01micra y 1 micra (aproximadamente el 90%), los demás tienen la posibilidad de ser levemente superiores. La mayor parte de los filtros standard de las líneas de aire alcanzan eliminar el agua por medio de la acción centrífuga, en los aerosoles no es de esta forma, esto se debe a que las partículas se encuentran reducidas, y necesitan el uso de un filtros únicos de modelo coalescente. El lugar de ingreso del compresor puede además tener su efecto encima del nivel de filtración solicitado, si, entre otras cosas, la toma está colocada próximamente a una fuente de vapores de hidrocarburos, etc. Un ingreso de aire libre de agua y aceite disminuirá los gastos de producción de aire comprimido.

La auditoría, es la prueba crítica y ordenada que lleva a cabo un personal o un conjunto de personas libre del sistema, mediante el cual se puede verificar el cumplimiento de parámetros de operación definidos del sistema y la efectividad del mismo o evaluar la necesidad de mejora. El objetivo será un informe que permita detectar oportunidades de mejora para lograr importantes ahorros económicos, así como conocer más y mejor como está operando el Sistema para tomar decisiones preventivas en lo inmediato y generar un plan de optimización de todo el Sistema a mediano y/o largo plazo.

Los beneficios de una auditoria del sistema de aire comprimido, es economizar la Energía Eléctrica, Reducción de Compresores en servicio, Mayor Presión en la Instalación, Mayor vida útil de Componentes, Ahorro en Mantenimiento, Menores costos en Repuestos, Disminución de Ruidos en Planta, Mejora del producto final, Disminución de scrap y Una instalación controlada y eficiente

Unas de las fallas más comunes que se pueden observar en las plantas son las fugas, se pueden encontrar en cualquier parte de la instalación siendo los lugares más comunes, debido a tubos envejecidos por el uso, a uniones en cañerías antiguas equipos de tratamiento de aire (reguladores, filtros, etc.), a tener conexiones en general (acoples, niples y cuplas).

El aire comprimido, es en términos de producción, muy caro, solo aprovechando en muchas ocasiones solo el 5 % en uso industrial. En el motor eléctrico también se tienen pérdidas, por lo que tiene un 7 %, en pérdidas mecánicas un 3 %, en pérdidas internas 3 %, en calor 78 % y en tratamiento un 4 %.

En los sistemas de aire comprimido se encuentra impurezas donde producen un deterioro rápido el cual hace que las instalaciones neumáticas se vean afectadas, esto se genera debido a la aparición de muchos factores como oxido, agua, aceite de engrase de los compresores, etc.

El agua crea un deterioro rápido a los elementos neumáticos, dado que jala el aceite que deben lubricar a las piezas que están en movimiento, produciendo partículas de óxido en los conductos de entrega, destruye las tuberías que son flexibles y estimula la creación de granizos en lugares donde se trabaja a temperaturas bajas. Esto conlleva a plantear las mejoras en los sistemas para la compresión y utilización de aire, son: mejoras en el sistema de generación de aire comprimido, mejoras en el sistema de transporte de aire comprimido y mejoras en el sistema de utilización de aire comprimido.

El sistema de generación de aire comprimido debe eliminar los elementos contaminantes para lo cual existen tecnologías actuales, como por ejemplo para la separación del agua, se realiza mediante purgas o sistema de secado en frío, en este procedimiento la división del agua se ejecuta por enfriamiento. El aire entra a la maquina a través de un intercambiador de calor, en la cual es enfriado antes por el aire seco también frio que evacua de la instalación frigorífica. En la cámara frigorífica el aire se enfría hasta 2° C; no debe descender de esta temperatura, dado que empieza la congelación de los condensados.

La red de aire comprimido, es considerada como el grupo de las tuberías que inician su recorrido en el tanque, incorporados entre sí también que transportan el aire comprimido a las tomas para el consumo individual de los equipos. Los métodos primordiales de una red son la rapidez que circulan y el descenso de la presión de los ductos. Como solución a la automatización como también la racionalización de las máquinas de construcción, las compañías requieren constantemente una proporción de aire. Se requiere para cada mecanismo una porción de aire como también para cada máquina, donde es suministrado por un equipo compresor, por medio de una red de tuberías. (Ruiz Martinez, 2011).

La preparación de instalar en la actualidad se debe considerar un futuro aumento del requerimiento de aire, cuya razón tendrán que dimensionar las tuberías. Las instalaciones posteriores de una red más extensa nos llevan a mayores gasto económicos. Se tienen la posibilidad de tener en cuenta 3 clases de tuberías:

Las tuberías principales y colectores: La tubería principal empieza a la salida del tanque del compresor que conduce los gases a través de los canales en su totalidad. Los conectores salen de las tuberías principales y suministran de aire a las tuberías primarias. Tienen que tener un diámetro mayor aceptable. El rango de velocidad se encuentra entre 6m/s y 10m/s.

Las tuberías primarias: El aire es tomado de los colectores, derivándose por las áreas de trabajo, y son derivados a las tuberías de diámetro pequeño llamados tuberías de servicio. El caudal que atraviesa por las tuberías de servicio es la suma del total de los puntos de abastecimiento. El desplazamiento del aire se encuentra entre 15m/s a 20m/s.

Las tuberías de servicio (o secundarias/terciarias): las maquinas neumáticas son alimentadas por las tuberías de servicio. Usan acoples de cierre rápido, y tienen mangueras de aire como también reguladores, lubricadores y filtros.

El diseño de la red de distribución se desarrollará teniendo en cuenta el lugar de los puntos de uso, el lugar de los equipos, la distribución de las naves y las funciones a interior de la empresa, se debe considerar los siguientes principios: (VÁSQUEZ, 2005), diseño de la tubería, de modo que se seleccione los caminos más cortos y tratando que sea lo más derecho posible. Obviando las transformaciones violentas de dirección. La reducción de la sección. Las curvas. Las piezas en T, etc. Con el objeto de elaborar una pérdida de carga menor, para facilitar el mantenimiento y la supervisión, se debe intentar que el diseño del montaje sea aéreo. Impedir las tuberías bajo tierra.

Las conexiones como también las tomas en las bajantes se llevarán a cabo lateralmente poniendo en la parte de abajo un drenaje automático, se debe considerar las necesidades del tratamiento del aire, observando si es indispensable un secado general o sólo parcial del mismo, hay que prevenir el uso de lubricadores, filtros como de reguladores.

En el momento que los caudales son elevados, de la misma manera el largo de las tuberías, se acepta una pérdida de presión de 0,5 bares, para el compresor haciendo un trabajo a 7 bares. Las tuberías de aire comprimido tienen que dimensionarse con holgura. Desde el criterio de la explotación, no hay peligro en dejar una tubería sobredimensionada; al caer la presión la tubería funcionará como un depósito de aire. El costo agregado como resultado de cierto incremento de la dimensión es insignificante relacionado con los costos que tienen la posibilidad de originarse si la red de tuberías se renovará al cabo de algún tiempo. La caída de presión necesitará de las magnitudes siguientes:

- El caudal de aire
- La longitud de las tuberías
- El diámetro de las tuberías
- La presión de trabajo en los consumidores
- La cantidad de estrangulamientos en la red.

La metodología, esta consiste en la investigación del mejoramiento de las zonas, determinando los inconvenientes a resolver, y luego diseñar un plan de acción, que esté conformados por responsables, objetivos, actividades como también indicadores de gestión que autoricen hacer evaluaciones seguidamente, el diseño tiene que ser alcanzable en un determinado periodo.

Las compresoras, son máquinas cuyo trabajo consiste en incrementar la presión y trasladar los fluidos que se puedan comprimir (gases y vapores). Teniendo en cuenta que el incremento de presión de un gas no es lo mismo en los compresores. Existen diferentes tipos de compresoras en función al diseño, las cuales se clasifican en dos grupos:

Compresoras de desplazamiento positivo, estos tipos de compresores se caracterizan por incrementa la presión directamente el cual se va disminuyendo el volumen del gas, cuando alcanza el valor límite diseñado lo expulsa al sistema. Se usan donde se requieren altas presiones y volúmenes de aire este caso,entres sus tipos tenemos:

- **Compresor de pistón**, el modo de funcionamiento de estos compresores comienza con la apertura de una válvula llamada admisión donde el aire es aspirado al interior de un cilindro llamado cámara de compresión, en la que el movimiento rotatorio del pistón el cual es impulsado por un cigüeñal y una biela que se mueve dentro de la cámara. Una vez que el pistón se encuentra en la parte más baja de su recorrido la válvula de admisión se cierra y comienza el ascenso del pistón donde el aire es comprimido y liberándolo por medio de la apertura de una válvula llamada escape, el aire es almacenado en un reservorio, la cual será usado por herramientas neumáticas conectados por mangueras de alta presión. La compresora se encenderá y apagará según la presión requerida que se puede visualizar por el manómetro. Esta operación se repetirá cuando la máquina se encuentre en uso. Estos compresores pueden funcionar en un rango de presión máximo de 30 bares
- **Compresor de tornillo**, el funcionamiento del compresor de tornillo de basa en la rotación de dos tornillos helicoidales (macho y hembra), que giran en direcciones diferentes, generalmente llamados tornillos que arrastran los gases dentro de los huecos, que se van haciendo más pequeños conforme avance el gas para producir una fuerza mayor y ser comprimido. Esto provoca un incremento de presión que permite que el volumen del aire encaje en las cavidades de la cámara de compresión.
- **Compresor de paletas**, el sistema consiste en el montaje de rotor rotativo que lleva ranuras que se usan para aguantar las paletas deslizantes que se encuentran dentro de una carcasa, colocándola de forma excéntrica. Durante la rotación del motor, las paletas flotantes salen y entran desde adentro, creando cámaras entre la carcasa y el rotor, que es ocupado por aire. El rotor está colocado en una posición excéntrica al eje central de la carcasa, las cámaras aumentan en el área de succión, provocando una depresión que causa el ingreso del aire. Según se desplaza con la rotación del motor, las cámaras reducen hacia el área de impulsión, comprimiendo el aire en su interior.
- **Compresor de lóbulos o embolo rotativos**, el funcionamiento del compresor de lóbulos se basa en el giro sincronizado y sentido contrario de los rotores que se

encuentra dentro de una carcasa, los rotores son la parte más importante del compresor y según el diseño pueden tener lóbulos rectos o helicoidales. Al girar en sentido contrario se forma entre los lóbulos una cámara en la que el aire ingresa donde los lóbulos limitan el desplazamiento del aire y así conseguir incrementar la presión en función a la contrapresión donde se localizan al final de la salida del compresor, la contrapresión se da por la pérdida de fricción y la necesidad de presión con la que trabaja el sistema, los compresores son utilizados donde se requiere baja sobrepresión y a la vez una descarga de grandes volúmenes de aire.

- **Compresores scroll**, estos compresores poseen un movimiento que se llama orbital. La compresión es realizada cuando el volumen es reducido. El grupo del compresor está compuesto por dos rotores con forma espiral. Uno de ellos está adherido a la estructura y el otro está en movimiento, la cual es movido por el motor. Están desfasados 180° , lo que facilita crear cámaras pequeñas en su movimiento.
- **Bombas en vacío**, varios de los diseños son utilizados indistintamente como bombas de vacío como también compresores. Hay bombas de vacío de tornillo, lóbulos, paletas y tornillo. El funcionamiento de las bombas en vacío mencionados es parecido al de su compresor homólogo. Con las características que están diseñadas para succionar desde adentro de un recipiente o de una red, y no para que el gas o aire sea comprimido de lo que es succionado. Como caso inusual, sobresale el diseño de las bombas de vacío de anillos líquido. Dentro de estas máquinas se encuentra un rotor de paletas estables, situados de manera excéntrica en la estructura de la bomba. Al interior de la estructura lleva un fluido que por lo general es agua. Cuando el rotor da un giro a su velocidad nominal, la fuerza centrífuga que ejerce sobre el fluido, provoca que se pegue a las paredes internas de la estructura, la cual forman cámaras de compresión y aspiración con las paletas del rotor.

Compresores dinámicos, el funcionamiento de los compresores dinámicos está basado a la aceleración molecular. El aire es atraído por el rodete a una gran velocidad por medio de su campana de ingreso. Luego es descargado de manera directa a unos difusores instalados cerca

al rodete, donde la energía cinética total se convierte en presión estática que luego es suelta al sistema, tenemos los siguientes tipos:

- J) **Compresores centrífugos radiales**, los compresores centrífugos radiales se basa en la entrada de aire de manera directa en el central del rotor, dirigido por la campana de succión. El rotor gira a alta velocidad y expulsa el aire sobre un difusor ubicado a su espalda y es dirigido al cuerpo de impulsión.

- J) **Compresores centrífugos axiales**, los compresores centrífugos axiales son menos usuales en las empresas. Se distinguen de los compresores anteriores, donde el aire circula a la dirección del eje. Los compresores axiales están constituidos por muchos discos denominados rotores, en medio de cada rotor se coloca otros disco llamado estator, donde el aire acelerado por el rotor, aumenta su presión antes de ingresar en el disco siguiente. En la succión de ciertos compresores, son instalados unos álabes guía, que aceptan orientar la corriente de aire para que entre con el ángulo correcto.

Para el estudio teórico, de los procesos que se dan en el compresor de pistón se elaboran las siguientes suposiciones: No se pierde gas por fugas, es retirado todo el gas succionado, No hay fricción en medio del cilindro y el pistón. Las presiones de succión y de evacuación son continuas e idénticas con la presión del conducto de succión y de salida. No existe intercambio de calor entre el medio ambiente y el gas.

Como parámetros principales de un compresor se tiene el Grado volumétrico de compresión, que es la relación entre el volumen muerto y el volumen de carrera $\epsilon_v = \frac{V}{V}$, en la práctica $\epsilon_v = (\dots)\%$, también se tiene el Grado de llenado del compresor, que es la relación entre el volumen de aspiración y el volumen de carrera

$$\mu = \frac{V_a}{V}, \text{ la presión máxima de compresión.}$$

Para determinar la potencia mecánica que demanda un compresor a pistones se determina con la Ecuación:

$$P_{cc} = \frac{\frac{k * z}{k - 1} * p \left[\frac{N}{m^2} \right] * V \left[\frac{m^3}{s} \right] * \left[\left(\frac{p}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{\eta_{cc} * 1} [k] \quad (1-1)$$

K: Es el coeficiente adiabático del proceso de compresión del aire = 1.4.

Z: Número de etapas de compresión.

p1: Presión absoluta del aire en la entrada, en N/m².

VT: Flujo volumétrico del aire libre, a las condiciones de entrada, en m³/s.

p2: Es la presión de salida del aire del compresor, en N/m²

η : Compresora es el rendimiento volumétrico del compresor.

El volumen de gas comprimido abastecido por el compresor en la unidad de tiempo dado a condiciones de presión y temperatura de la aspiración, representa el flujo del compresor.

El Flujo teórico del compresor, es igual con el volumen que genera el compresor en la unidad de tiempo y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = i * \frac{\pi * D_p^2}{4} * s * n \left[\frac{m^3}{m} \right] \quad (1-2)$$

Siendo:

i : número de pistones.

Dp: diámetro del pistón, en m.

S : carrera del pistón, m.

n : velocidad de rotación del cigüeñal, en Rev./min.

Para encontrar el flujo real del compresor se usa la siguiente formula:

$$\dot{V} = \lambda * \dot{V}_t$$

Donde:

λ : es el coeficiente del caudal, en el coeficiente de caudal se tiene en cuenta todos los fenómenos que tienen lugar en el compresor.

Para hallar que consume el compresor se determina con la ecuación:

$$P = \frac{L}{6} * \frac{n_r}{\eta_m} * \frac{1}{1} [k] \quad (1-3)$$

Li: Es el trabajo mecánico indicado, en Joule.

nr: Es la velocidad de rotación, en Rev./min.

η_m : Es el rendimiento mecánico.

Al analizar un sistema de aire comprimido se aplican las ecuaciones del gas perfecto, el cálculo de la densidad del aire a condiciones de operación, se hace con la ecuación:

$$\rho_a \left[\frac{k}{m^3} \right] = \frac{P_1 \left(\frac{N}{m^2} \right)}{R \left(\frac{J}{k * K} \right) * T_1 (K)} \quad (1-4)$$

P1: Es la presión absoluta del aire comprimido, en Pa.

R: Es la constante del aire.

T: Es la temperatura absoluta del aire.

También El flujo de aire se determina con la ecuación:

$$\dot{m}_a \left[\frac{k}{s} \right] = \dot{V}_a \left(\frac{m^3}{s} \right) * \rho_a \left(\frac{k}{m^3} \right) \quad (1-5)$$

\dot{V}_a : El flujo volumétrico del aire.

\dot{m}_a : Masa del aire.

ρ_a : Densidad del aire.

Continuando con el análisis mecánico de la tubería del sistema se inicia con la determinación de número de cédula, Número de Schedule = 1000 (P/S), en la cual P: Presión de trabajo (daN/cm²) y S: Esfuerzo de trabajo (daN/cm²), en función del material del tubo y su temperatura de operación, y la disminución de presión en las tuberías de aire, se hace con la ecuación de Darcy:

$$\Delta p_a \left[\frac{N}{m^2} \right] = \lambda \frac{L_e (m) * U^2_v \left(\frac{m}{s} \right) * \rho_v \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{2 * d_i (m)} \quad (1-6)$$

λ = Coeficiente de pérdida de presión por fricción (-).

Lequivalente total = Longitud equivalente total, m.

U = Velocidad del vapor en tubería, m/s.

ρ_v = Densidad del aire comprimido, kg/m³.

Di = Diámetro interior de la tubería, m.

Se debe considerar que la disminución de presión máxima en las tuberías tiene que ser menos del 2% con respecto a la presión del compresor. Con este valor y con la Fórmula de Renouard se obtiene el diámetro interior de la tubería:

$$p_1 - p_2 = \frac{C_c * P_r * L_e * v^{1.2}}{2 * p_{11} * D^{4.2}} \quad (1-7)$$

En dónde:

p₁ y **p₂**: Presiones absolutas en el origen y en el extremo (bar)

CRc: Es el coeficiente de Renouard cuadrático (igual a 48.60)

Pr: Es la densidad relativa del gas.

V: Es el caudal de aire libre en Nm³/h y D es el diámetro interior de la tubería en mm, pn: Es la presión nominal en bar.

Para determinar el diámetro interno de la tubería de aire tenemos la siguiente ecuación:

$$D_{ti} = \left(\frac{C_c * P_T * L_e * V^{1.82}}{2 * P_{II} * D^{4.82}} \right)^{\frac{1}{4.82}} = \left(\frac{3.4 * L_e * V^{1.82}}{\Delta P} \right)^{\frac{1}{4.82}}$$

(1-8)

El Flujo volumétrico de aire libre, con la ecuación:

$$v_{a-ti} \left[\frac{Nm^3}{h} \right] = 1.82 \sqrt{\frac{\Delta P * D^{4.82}}{3.4 * L_e}}$$

(1-9)

Siendo:

Δp = Caída de presión en el conducto

Lequiv = Longitud equivalente del tramo

m y **V** = Flujo volumétrico de aire libre, Nm³/h.

El costo, Los costos económicos abordan de igual manera los costos explícitos, pero adicionalmente también abordan los costos implícitos, son aquellos costos que no aparecen registrados en los libros de contabilidad, pero que la empresa asume para utilizar los recursos de manera más beneficiosa.

La Mano de obra directa (MOD.), están formados por los salarios abonados a los empleados cuya actividad se relaciona directamente con la elaboración de los bienes que una industria fabrica.

Los costos indirectos de fabricación (CIF), son todos aquellos costos que no se relacionan directamente con la manufactura pero si contribuyen al costo de producción: materiales indirectos, mano de obra directa, energía, mantenimiento de la empresa y equipos, seguros, etc.

El valor neto en la actualidad es un procedimiento de valoración de inversiones que puede determinarse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión. (Sowel, 2013).

$$V. = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1-10)$$

Dónde:

- V** : Valor actual neto [\$]
- V_t** : Flujos de caja en cada tiempo [\$]
- r** : Interés [%],
- n** : Número de períodos considerados [años]
- I₀** : Valor del desembolso inicial de la inversión [\$]

La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto, es la tasa efectiva anual compuesto de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos, como negativos) de una determinada inversión sean igual a cero (SOWEL tomas, 2013).

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+T)^t} - I_0 = 0 \quad (1-11)$$

Dónde:

- T** : Tasa interna de retorno
- V** : Valor actual neto [\$]
- V_t**: Flujos de caja en cada tiempo [\$]
- n**: Número de períodos considerados [años]
- I₀**: Valor del desembolso inicial de la inversión [\$]

Expuesto la realidad problemática, trabajos previos y marco teórico se procederá a la

1.4 Formulación del problema

¿Cómo elaborar un plan de mejora para el sistema de aire comprimido en la empresa de rubro metalmecánica para aumentar capacidad y reducir costos?

1.5 Justificación del estudio

se basa en la relevancia Tecnológica, pues al implementar el plan de mejora en el sistema de aire comprimido de la empresa metalmecánica nos permite aplicar la ingeniería de la neumática, mecánica y electricidad al aumento de la capacidad de los compresores y los equipos que dependen de este sistema. El uso del dibujo asistido por computadora permitirá plasmar la solución de manera gráfica.

Como relevancia laboral se asume que permitirá mejorar el ambiente laboral pues se dispondrá de un sistema técnico más confiable, permitiendo aprovechar mejor la mano de obra para atender otros trabajos, además que el personal de mantenimiento y de operación se beneficiará con las capacitaciones sobre las mejoras a ser aplicadas, para mejorar su trabajo. La relevancia económica del estudio se basa en que, al implementar un plan de mejora del sistema de aire comprimido se obtendrá beneficios económicos pues se podrá realizar más trabajos debido al aumento de su capacidad y reducción de costos por aumento del rendimiento operacional.

1.6 La Hipótesis

Es la elaboración y aplicación de un plan de mejora del sistema de aire comprimido de la empresa metalmecánica, para aumentar su capacidad y reducir costos es viable técnica y económico.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Es elaborar en base a una auditoría, un plan de mejora del sistema de aire comprimido de la empresa metalmecánica para aumentar la capacidad y reducir costos.

1.7.2 Objetivos Específicos:

- a) realizar auditoria del sistema neumático. Capacidad (Nm^3/min), presiones (Bar), calidad del aire, costos actuales de operación y mantenimiento.
- b) determinar las mejoras del sistema neumático, que incluyen Mejoras en el sistema de generación de aire comprimido, Mejoras en el sistema de transporte de aire comprimido, Mejoras en el sistema de utilización de aire comprimido, Mejoras en el sistema eléctrico de alimentación.
- c) Elaborar un Plan de Mejora del sistema neumático.
- d) Análisis económico/financiero.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Por el tipo de objetivo: Investigación aplicada, Según Zorrilla (1993:43), se refiere a la investigación científica como también al estudio que buscan solucionar problemas prácticos. Siendo la finalidad es hallar ideas a utilizar para solucionar inconvenientes. La información que se aplica es usada para resolver inconvenientes que se presentan diariamente, desarrollando nuevas tecnologías. Usa partes de las teorías acumuladas, procedimientos, técnicas, también conocimientos para fines particulares. Emplea procedimientos empíricos. Como la búsqueda es llevado a la realidad, los protocolos de búsqueda estrictos, frecuentemente requieren ser relajados. Para el caso actual, se utiliza para perfeccionar la capacidad, eficacia y precios de un sistema de aire industrial.

Según los datos empleados: La investigación es cuantitativa, pues se refiere a las investigaciones sistemáticas empíricas de cualquier fenómeno, por medios matemáticos también computacionales como también técnicas de estadísticas.

El propósito es resolver y usar teorías, también modelos matemáticos y/o hipótesis que estén relacionados con los fenómenos. El propósito es desarrollar y usar modelos matemáticos, suposiciones relacionadas a los fenómenos como también teorías. Por lo general se usa procedimientos científicos como generación de modelo, procedimiento de medición, teorías, suposiciones, manipulación de variable, desarrollo de instrumentos, evaluación de resultados, conjunto de data empírica, dominio experimental.

Según el conocimiento que se tiene del objeto de estudio: Es investigación explicativa, que busca fijar las causas de hechos, situaciones o fenómenos objeto de estudio, ya sean sociales o físicos. Su propósito es justificar por qué ocurre un hecho, las condiciones en las que declara, y la relación que hay entre las variables. Esta clase de estudio es más estructurado que las investigaciones con los otros alcances. La investigación explicativa incluye explorar, especificación, correlación u organización.

Es de tipo –Investigación no experimental, que tiene como función ver fenómenos así como se originan en su entorno natural, y analizarlos. La investigación se hace sin la manipulación deliberada de las variables para crear un efecto sobre otras variables. Es

empírica como también sistemática. El investigador no crea ocasiones, sino que mira las ya que ya existen. Las variables independientes suceden y es imposible manipularlas, el investigador no posee el control directo sobre las mismas y no puede influenciarlas ya que ya se produjo, de la misma forma sus secuelas.

2.2 Operacionalización de variables

2.2.1 Variable Independiente:

1. Auditoria del sistema neumático.
2. Plan de mejora.

2.2.2 Variable Dependiente:

1. Plan de mejora.
2. Capacidad de generación de aire comprimido, costos

Tabla nr.1.Operacionalidad de variables

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	dimensión	indicador	Escala de medición	instrumento
Auditoria del sistema neumático	V.I	La auditoría es el examen crítico y sistemático que realiza una persona o grupo de personas independientes del sistema auditado,	Análisis secuencial y sistemático del sistema neumático para determinar posibilidades de mejora		(soles/)	Razón	observación
Plan de mejora	V.I	Un plan de mejora es un conjunto de medidas de cambio que se toman en una organización para mejorar su rendimiento	Elaboración de una secuencia lógica de pasos a seguir para obtener objetivos, asignando responsabilidades.			Razón	Registros de datos
Capacidad de generación de aire comprimido	V.D	La presión que se ejerce por una determinada fuerza es inversamente proporcional al volumen de una masa gaseosa, considerando que la temperatura se mantenga constante.	Es la obtención de aire con condiciones de presión y temperatura en un compresor	(/min)	(KW-h/)	Razón	
Costos	V.D	es el gasto económico ocasionado por la producción de algún bien o la	Costo de mantenimiento : la empresa Sumatoria de desembolsos económicos en mantenimiento de		(soles/)	Razón	

		oferta de algún servicio	operación, repuestos, lucro cesante. Costo de operación: sumatoria de desembolso económico en energía eléctrica, insumos directos, mantenimiento operacional				
					(soles/periodo)		

2.3 Población y muestra

2.3.1. Población: Empresa metalmecánica

2.3.2. Muestra: sistema de aire comprimido en la empresa metalmecánica.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos
Observación	Fichas de observación	Red de aire comprimido de la empresa	Determinar tipos de variables y su interacción
Entrevistas	Fichas de entrevista	Personal de operación y mantenimiento de Red de aire comprimido de la empresa	Conocer modos y frecuencia de mantenimiento, mediciones y monitoreos que se realizan
Encuestas	Fichas de encuestas	Staff de la empresa	Determinar enfoques de operación y proyecciones de inversión
Mediciones	Fichas de mediciones	Red de aire comprimido de la empresa	Analizar valores promedio de variables de proceso para determinar capacidades, eficiencias y costos actuales de generación de aire comprimido

Análisis registro de datos	Fichas de Registro de datos e incidencias	Red de aire comprimido de la empresa	Procesar valores registrados de variables de proceso, incidencias de operación y de mantenimiento
Revisión documental	Fichas bibliográficas	Literatura de especialidad sobre redes de aire comprimido	Seleccionar las ecuaciones y metodologías para análisis de redes de aire comprimido industrial

Tabla nr. 2: Instrumentos de evaluación, elaboración propia

La validez de los instrumentos se realizó a través del juicio de expertos, realizado por tres especialistas conocedores del tema.

2.5. Procedimiento

El estudio de la investigación será hecha por los investigadores, reconociendo las variables eléctricas y neumáticas del proceso, definiendo su interdependencia, se prepararán fichas de observación para analizar el problema y conocer los detalles y trabajos realizados en la red de la empresa, necesarias para mejorar. Se utilizará la ficha de entrevista en base a trabajos similares, de tesis o artículos científicos, para determinar el modo en que enfocaron el problema y su solución. Como son: potencias activas, reactivas, factor de potencia; presiones, temperaturas y Flujos, luego con estadística descriptiva o inferencial se establecerán los valores promedio. Se aplicarán las fichas de mediciones. Se aplicarán las teorías de sistemas neumáticos industriales y las ecuaciones respectivas para determinar capacidades, rendimientos y costos que permitan resolver el problema de investigación también se hará un análisis de los resultados de cada objetivo, interpretando y justificando y proyectando los valores obtenidos, definiendo la incidencia de los parámetros de proceso, se hará también; un análisis comparativo con los resultados de trabajos previos para definir la precisión obtenida. Finalmente Se demostrará que se han desarrollado todos los objetivos específicos, obteniendo las conclusiones en cada caso.

2.6. Métodos de análisis de datos

Se realizarán análisis descriptivos como también analíticos en la red de aire comprimido industrial, aplicando las ecuaciones de ingeniería mecánica, eléctrica y neumática, con los valores de estudio, con estadística descriptiva, obteniendo valores promedio confiables y establecer sus tendencias. En el análisis cuantitativo, se aplicará el análisis de ingeniería para hallar:

- Capacidades, rendimientos, caídas de presión, Potencias activas, Potencias reactivas, Potencias mecánicas
- Rendimientos, Costos de procesos y propuestas de mejora

Para determinar la situación actual y proyectada de la red de aire comprimido industrial de la empresa, se hará el Análisis económico financiero, estableciendo, en base al plan de mejoras; presupuestos, beneficios económicos brutos y netos, el valor actual neto, período de retorno de la inversión, que determinar la rentabilidad o no, de la inversión a realizar.

2.7. Aspectos éticos

Toda la información presentada en la presente Tesis ha sido desarrollada por los autores, no existiendo plagio. También se obvia el nombre de la empresa por temas legales a futuro.

III. RESULTADOS

3.1 Auditoria del sistema neumático. Capacidad (Nm³/min)

En el trabajo de investigación se determinara la capacidad del compresor de aire comprimido y se hará el análisis comparativo con su capacidad nominal, que es de 3 m³/min. Con estos datos se obtendrá:

3.1.1 Determinación de la capacidad de generación actual de aire

Capacidades de equipos neumáticos de la empresa:

1) Amoladora / Rectificadora Neumática de 1/4"

Son herramientas diseñadas para hacer trabajos en lugares de acceso complicado, en la cual no es posible el uso de las amoladoras angulares (su movimiento es igual al eje del rotor). Son máquinas que nos permiten hacer varias funciones, dependiendo de tipo de disco como por ejm. Cortar, afilar como también pulir. La amoladora neumática contiene un compresor de aire, para abastecer el motor. Aunque es una maquina manejable, también compacta. La presencia de los tubos que abastecen de aire comprimido hace que sea difícil manipularla.

Algunas ventajas de las amoladoras neumáticas:

No hay peligro de humedad.

Su ligereza no permite hacer trabajos más cómodos que las eléctricas.

Características del taladro neumático de la empresa:

- Tipo: Extendido
- Caudal de aire libre: 4 = pie³/min = 0.25 m³/min
- Número de piezas: tres.
- Velocidad: 23000 RPM

2) Taladro neumático:

Es una máquina que se acciona por aire comprimido y es usado para despedazar o excavar en zonas duras. Un taladro neumático está compuesto mangueras que soportan la presión que entrega el compresor, carcasa exterior, un mango, una broca que permita el cambio dependiendo del tipo de trabajo, además al interior de la

carcasa está una simple red de tubos, un martinete como una válvula, en tanto que el aire a presión se bombea por medio de las mangueras en tubos interiores. El conductor de pila, una barrilla de metal pesado, cae o también sube en función de la presión del aire que ingresa en el tubo, dando golpes constantemente a la broca y forzándola en la superficie.

- Caudal de aire libre: 0.15 m³/min
- Número de piezas: dos

3) **Atornillador neumática:**

Generalmente estas herramientas neumáticas tienen husillos hembra de tamaño hexagonal de 1/4 o 5/16 de pulgada para recibir puntas comerciales. Se adaptan a tornillos de hasta 1/2 pulgada y la potencia de salida varía entre 95 W a 750 W, con velocidades de 250 a 5000 rpm.

Se clasifican por el tipo de mango, tipo de embrague, modo de operación del acelerador, capacidad del torque y el tipo de accionamiento.

Los tipos de atornilladores/destornilladores son de dos tipos:

De pistola: son adecuados para realizar trabajos horizontales y cuando se realice una reacción de torque considerable al operador. Este diseño puede ser accionado por la presión del operador contra elemento de sujeción o por un gatillo.

Recto: Este diseño se usa normalmente en posición vertical, cuando el torque de reacción es bajo y se acciona mediante palanca o botón.

El accionamiento de estas herramientas pueden ser directos o tener varios tipos de embragues (positivo, amortiguado, y de cierre), siendo el primero el más simple y menos costos.

Algunos criterios para la selección de atornilladores/destornilladores: El tipo de material del objeto a sujetar, tamaño de tornillo (métrico, pulgada), torque, velocidad, estilo de mango, tipo de embrague, tipo de encastre (cuadrado, hexagonal)

Características del atornillador/destornilladores neumático de la empresa:

- Caudal de aire libre: 0.375 m³/min
- Número de piezas: tres

4) Pistolas de pintar:

Las pistolas para pintar son dispositivos de aspersion de líquidos, tal como pinturas. En estos dispositivos se emplea aire para dividir el fluido de trabajo en pequeñas gotas por medio de su presión y formar un patrón para rociar la superficie a pintar, tenemos:

- Caudal de aire libre: 0.175 m³/min
- Número de piezas: tres

5) Llaves dinamométricas:

La llave dinamométrica es una herramienta manual, similar a una llave de carraca común. Al igual que ésta, tiene dos partes principales: el mango y la cabeza, que puede ser intercambiable. Sin embargo, la llave dinamométrica cuenta con una diferencia básica respecto a la llave de carraca: permite ajustar el par de apriete, tenemos:

- Caudal de aire: 0.25 m³/min
- Número de piezas: tres

Se obtuvo la Demanda nominal total de aire libre:

$$3 * 0.25 + 2 * 0.15 + 2 * 0.30 + 3 * 0.175 + 3 * 0.25 = 2.925 \text{ m}^3/\text{m}$$

La Capacidad nominal del compresor actual: 3 m³/min = 0.05 m³/s.

Se observa que la demanda nominal es del mismo orden que la capacidad nominal de generación de aire, 2.925 m³/min, contra 3 m³/min, no se ha considerado un buen factor de servicio. Se hará el análisis de demanda de aire, en condiciones de operación normal.

Datos medidos del compresor:

- Número de etapas de compresión: 3
- Coeficiente adiabático del aire: k = 1.41
- Presión manométrica de succión, p_{1m}: -0.18 bar
- Presión absoluta de succión: -0.18 + 1 = 0.82 bar: 0.82 * 10⁵ N/m²

- Presión manométrica de salida: 10 bar
- Presión absoluta de salida: 11 bar: $11 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- Eficiencia nominal del compresor: 0.74

Parámetros eléctricos medidos de operación del motor de accionamiento del compresor:

- Intensidad de corriente medida: 34.2 A
- Factor de potencia medido: 0.87
- Tensión en bornes del motor trifásico: 436 V
- Eficiencia del motor trifásico: 0.90

Se determinó la Potencia absorbida por motor trifásico:

$$P_M (k) = \frac{\sqrt{3} * U_L * I_L * C_{\varphi}}{1} = \frac{\sqrt{3} * 436 * 34.2 * 0.87}{1} = 24.4$$

Se calculó la Potencia en eje del motor eléctrico = Potencia en eje del compresor:

$$P_{e-M} = P_{E-C} = P_{A-M} * \eta_M = 24.4 * 0.9 = 21.96 \text{ k}$$

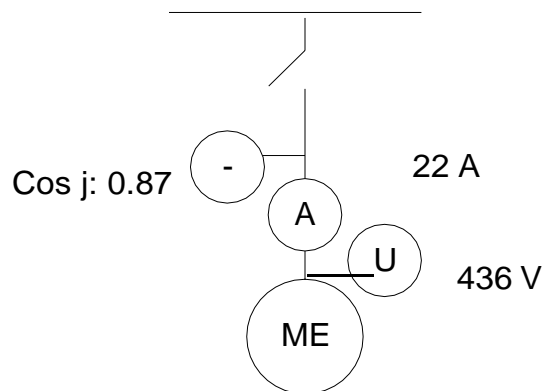


Figura nr. 1: Medición de parámetro eléctricos del motor. Elaboración propia.

Cálculo de la capacidad de aire libre actual, del compresor

Se hará midiendo el tiempo de llenado, desde la presión inicial, atmosférica, hasta la presión de salida del compresor, del tanque de almacenamiento de aire comprimido, sin consumo a las cargas.

- Datos del tanque:
 - Diámetro interior, dint: 1.25 m
 - Altura, Ht: 2.4 m

- Volumen del tanque de almacenamiento, V_t :

$$V_t = \frac{\pi * d_{ti}^2}{4} * H_t = \frac{\pi * 1.2^2}{4} * 2.4 = 2.9 \text{ m}^3$$

De mediciones:

Tiempo de llenado del tanque con aire comprimido, hasta 11 bar absolutos:

18 minutos = 1080 s

De la ecuación del gas perfecto, en flujos:

$$P_1 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) * V_a \quad || \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = m_a \quad || \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) * R_a \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} \right) * T_a$$

Masa de aire comprimido:

$$m_a \text{ cc} = P_a \text{ cc} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * V_t (\text{m}^3)$$

Cálculo de la densidad del aire comprimido, d

Presión absoluta: $11 * 10^5 \text{ N/m}^2$

Constante universal de los gases: 8314 J/(kmol*K)

Masa molar del aire:

$M_{\text{aire}} = 0.79 * M_{\text{N}_2} + 0.21 * M_{\text{O}_2} = 0.79 * 28 + 0.21 * 32 = 28.84 \text{ kg/kmol}$

Constante del aire comprimido, R :

$8314 \text{ J/(kmol*K)} / 28.84 \text{ kg/kmol} = 288.3 \text{ J/(kg*K)}$

Temperatura absoluta del aire comprimido: $25 + 273.15 = 298.15 \text{ K}$

$$d = \frac{P_{@1}}{R * T} = \frac{11 * 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{288.3 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * 298.15 \text{ K}} = 1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Entonces, la masa final de aire comprimido en el tanque será:

$$m_a \text{ cc} = 1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2.9 \text{ m}^3 = 3.6 \text{ kg}$$

Se convierte la masa final en flujo, considerando el tiempo de llenado:

$$m_a \text{ cc} = \frac{m_a \text{ cc}}{T_p - t} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{3.6 \text{ kg}}{1 \text{ s}} = 0.0 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Se determina, finalmente el flujo volumétrico de aire libre:

De la ecuación de Clapeyron, para gases perfectos:

$$P_{@1} \left(\frac{N}{m^2} \right) * V_a \parallel \left(\frac{m^3}{s} \right) = m_a \left(\frac{k}{s} \right) * R_a \left(\frac{J}{k * K} \right) * T_a \quad (8)$$

Despejando:

$$V_a \parallel \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{m_a \text{rc} \left(\frac{k}{s} \right) * R_a \left(\frac{J}{k * K} \right) * T_a \quad (8)}{P_{@1} \left(\frac{N}{m^2} \right)}$$

Reemplazando y procesando:

$$V_a \parallel \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{0.0 \left(\frac{k}{s} \right) * 2.3 \left(\frac{J}{k * K} \right) * 2.1 \quad (8)}{0.8 * 1.5 \left(\frac{N}{m^2} \right)} = 0.0 \quad \frac{m^3}{s}$$

Se determina el rendimiento volumétrico real, actual del compresor:

De la ecuación de potencia del compresor, se tiene:

$$P_{cc} = \frac{\frac{k * z}{k - 1} * P_1 \left[\frac{N}{m^2} \right] * \dot{V}_1 \left[\frac{m^3}{s} \right] * \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k * z}} - 1 \right]}{\eta_{cc} * 1} \quad [k]$$

$$\eta_{cc} = \frac{\frac{1.4 * 2}{1.4 - 1} * 0.8 * 1.5 \left[\frac{N}{m^2} \right] * 0.0 \left[\frac{m^3}{s} \right] * \left[\left(\frac{1 * 1.5}{0.8 * 1.5} \right)^{\frac{1.4 - 1}{1.4 * 2}} - 1 \right]}{2.2 * 1}$$

$$= 0.7$$

Se observa que el rendimiento volumétrico del compresor se ha reducido en 3%, desde 74% nominal hasta 71% actual. El compresor necesita mantenimiento.

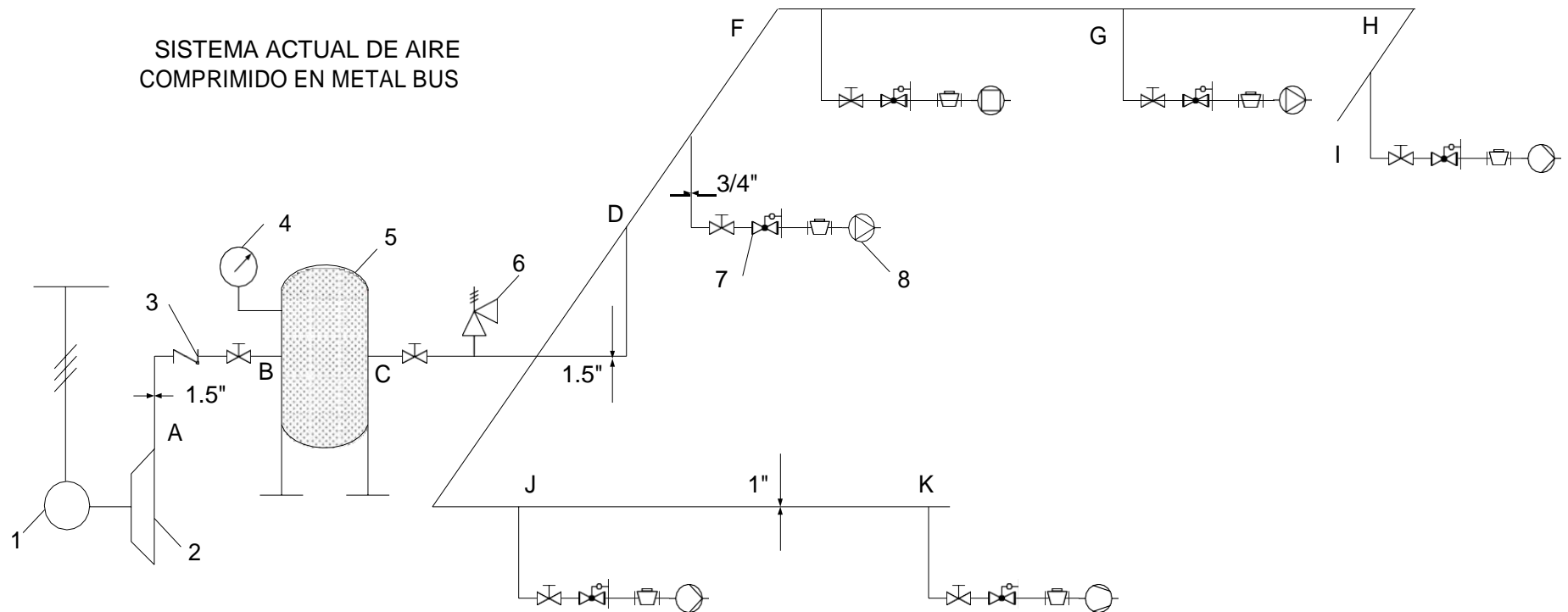


Figura nr. 2: Red actual de aire comprimido en la empresa- Elaboración propia

Leyenda: 1: Motor trifásico, $P_n = 45 \text{ kw}$, 2: Compresor de aire, a pistones, 3: Válvula anti retorno, 4: Manómetro de alta presión, bar; 5: tanque de almacenamiento de aire comprimido, 6: Válvula de seguridad, 7: grupo de preparación de aire comprimido Filtro, Regulador y Lubricador,

3.1.2 Verificación de capacidad de tuberías red de aire comprimido

La empresa tiene en mente ampliar la capacidad de la red de aire comprimido para atender la mayor demanda de sus productos.

Se considera aumentar en 50 % los equipos neumáticos, de diverso tipo existentes, y para eso se determina si las tuberías actuales tienen la capacidad de transporte necesaria, determinando la caída de presión en línea, tanto en cada tramo, como en la general de distribución.

Si las actuales tuberías causan mucha caída de presión, mayor al 5% de la presión al inicio de la tubería, se optará por el cambio por una nueva que asegure este requerimiento.

Datos del sistema de aire comprimido

- Flujo total del aire libre: $0.037 \text{ m}^3/\text{s}$
- Presión absoluta del aire libre: $1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- Presión absoluta del aire comprimido: $11 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- Constante del aire comprimido, R: $288.3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Temperatura absoluta del aire libre: $25 + 273.15 = 298.15 \text{ K}$
- Temperatura absoluta del aire comprimido: $37 + 273.15 = 310.15 \text{ K}$
- Densidad del aire comprimido: $1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

De la ecuación del gas perfecto, para aire libre:

$$P_1 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \cdot V_a \quad \text{ii} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = m_a \quad \text{ii} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot R_a \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot T_1 \quad (a)$$

De la ecuación del gas perfecto, para aire comprimido:

$$P_2 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \cdot V_a \quad \text{cc} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = m_a \quad \text{cc} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot R_a \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot T_2 \quad (b)$$

Dividiendo la ecuación a entre la ecuación b:

$$\frac{P_1}{P_2} * \frac{V_{a \text{ li}}}{V_{a \text{ cc}}} = \frac{T_1}{T_2}$$

Despejando, se obtiene el flujo volumétrico total de aire comprimido:

$$\frac{P_1}{P_2} * \frac{V_{a \text{ li}}}{V_{a \text{ cc}}} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$V_{a \text{ cc}} = \frac{P_1}{P_2} * V_{a \text{ li}} * \frac{T_2}{T_1}$$

Reemplazando y procesando:

$$V_{a \text{ cc}} = \frac{1 * 1^5}{1 * 1^8} * 0.0 * \frac{3}{2} * \frac{.1}{.1} = 3.5 * 1^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Análisis de tramo AB:

Flujo de aire comprimido: $3.5 * 1^{-3} \frac{m^3}{s}$

Diámetro interior de tubería del tramo: 1 pulgada

Accesorios en tramo AB:

- Válvula de compuerta, dn = 1"
- Válvula anti retorno, 1"
- Codo radio corto, 90°, 1"

Pérdida de presión en tramo AB:

Se utilizará la ecuación de Darcy en base a longitud equivalente de la tubería.

Cálculo de velocidad en tubería actual, 1 pulgadas, cédula 40

De la siguiente tablas (nr:3)

- Dinterior de tubería con dn = 1 pulgada, cédula 40, acero ASTM A 53:
- Dext = 33.4 mm = 0.0483 m
- Espesor de pared del tubo: 3.38
- Diámetro interior: $33.4 - 2 * 3.38 = 26.64 \text{ mm} = 0.02664 \text{ m}$

TUBOS DE ACERO SIN COSTURA ASTM A-53 GRADO B / ASTM A-106 / API 5L								
Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Nr. de Cédula	Espesor de pared	Dint	Peso Nominal	Presión de Prueba	
	pulg.	m.m.					n°	m.m.
3/8	0.675	17.15	40	2.31	12.53	0.84	700	49.2
1/2	0.840	21.34	40	2.77	15.80	1.27	700	49.2
3/4	1.050	26.7	40	2.87	20.96	1.69	700	49.2
1	1.315	33.4	40	3.38	26.64	2.50	700	49.2
1 1/4	1.660	42.2	40	3.56	35.08	3.39	1300	91.0
1 1/2	1.900	48.3	40	3.68	40.94	4.05	1300	91.0
2	2.375	60.3	40	3.91	52.48	5.44	2500	175.0
2 1/2	2.875	73.0	40	5.16	62.68	8.63	2500	175.0
3	3.500	88.9	40	5.49	77.92	11.29	2500	175.0

Tabla nr3. Dimensiones de tubos de acero sin costura ASTM A 53

- Sección transversal de tubería 1''

$$S_1[m^2] = \pi * \frac{d_{int}^2}{4} = \pi * \frac{0.0254^2}{4} = 5.57 * 10^{-4}$$

- Velocidad del aire comprimido en tubería de 1''

$$U_1 \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{V_a \left(\frac{m^3}{s} \right)}{S_1(m^2)} = \frac{3.5 * 10^{-3}}{5.5 * 10^{-4}} = 6.2 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de pérdida de presión en condiciones actuales, red de dn = 1.5''

$$\Delta P_a \left[\frac{N}{m^2} \right] = \lambda * \frac{L_e (m) * U_v^2 \left(\frac{m^2}{s^2} \right) * \rho_a \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{2 * d_{in} (m)}$$

En la cual:

- λ = Coeficiente de pérdida de presión por fricción (-)
- **Lequivalente total** = Longitud equivalente total
- **Uv** = velocidad del aire comprimido en tubería, m/s
- **ρv** = densidad del aire comprimido, kg/m³
- **dint** = diámetro interior de la tubería, m

- Cálculo de longitud equivalente total en tramo AB

Tramos rectos en tubería:

$$1.2 + 5.7 + 1.7 = 8.60 \text{ m}$$

Cálculo de longitudes de accesorios de tuberías:

- Codos rectos, de 90°, dn = 1'', cédula 40

Número: 1

Longitud equivalente unitaria: 0.6 m/pieza

$$L_{c} = n_c \cdot L_{e_c} = 1 \cdot 3 \frac{\text{m}}{c} = 3$$

Válvula de compuerta: dn = 1''

Longitud equivalente unitaria: 0.6 m/pieza

$$L_{v} = n_v \cdot L_{e_v} = 2 \cdot 0.6 \frac{\text{m}}{v} = 1.2 \text{ m}$$

- Tees: dn = 1''

Longitud equivalente unitaria: 4 m/pieza

$$L_T = n_T \cdot L_{e_T} = 1 \cdot 5 \frac{\text{m}}{T} = 5 \text{ m}$$

$$L_{T \text{ ía-a}} = L_T + L_c + L_v + L_T = 8.6 + 3 + 1.2 + 5 = 17.8$$

- Número de Reynolds del flujo de aire comprimido:

$$R = \frac{U_{a-c} \cdot d_{ii}}{\nu}$$

En la cual:

U_v = velocidad del aire = 6.28 m/s

d_{int} = diámetro interior de la tubería = 0.02664 m (dn = 1", cédula 40)

ν = viscosidad cinemática del aire, a 25°C = $15.06 \cdot 10^{-6}$ m²/s

$$R = \frac{U_a \cdot d_{int}}{\nu} = \frac{6.2 \frac{m}{s} \cdot 0.02664 m}{15.06 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 109.1$$

El flujo de aire comprimido en tramo de tuberías AB es turbulento

Cálculo del coeficiente de pérdida de presión

Si $Re > 10000$:

$$\lambda = 0.0164 + \frac{0.0005}{\sqrt{Re}} \quad \text{Régimen turbulento}$$

En la cual U_v es la velocidad del aire comprimido en tubería, m/s

Reemplazando:

$$\lambda = 0.0164 + \frac{0.0005}{\sqrt{109.1}} = 0.0165$$

Entonces, la caída de presión en el tramo AB es:

$$\Delta p_{T, A} \left[\frac{N}{m^2} \right] = 0.0165 \cdot \frac{1.8(m) \cdot 6.28^2 \left(\frac{m^2}{s^2} \right) \cdot 1.8 \left(\frac{k}{m^3} \right)}{2 \cdot 0.02664(m)} = 3.4 \frac{N}{m^2}$$

$$= 0.0$$

Caída de presión porcentual en tramo AB:

$$\Delta p(\%) = \frac{\Delta p_{T, A}}{p_1} = \frac{0.0165}{1.8} \cdot 1 = 0.92 \% \text{ d } p$$

Se observa que la tubería tiene una caída de presión actual, muy baja, de 0.34 % mucho menor que el 5% admisible

Verificación de caída de presión con aumento de carga

Se verifica si la actual tubería tiene capacidad para suministrar un incremento del flujo en 50%

Flujo volumétrico proyectado: $3.5 * 10^{-3} * 1.5 = 5.25 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Velocidad proyectada del aire comprimido en tubería de 1''

$$U_1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{V_a \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{S_1 (\text{m}^2)} = \frac{5.2 * 10^{-3}}{5.5 * 10^{-4}} = 9.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esta velocidad esté en el rango de velocidad recomendada para líneas de aire comprimido

Entonces, caída de presión proyectada en tramo AB con nueva carga:

$$\Delta p_{T_A} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = 0.0 * \frac{1.8(\text{m}) * 9.4^2 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) * 1.8 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{2 * 0.0 (\text{m})} = 7.6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0.0$$

Caída de presión porcentual proyectada en tramo AB, con nueva carga:

$$\Delta p(\%) = \frac{\Delta p_{T_A}}{p_1} = \frac{0.0}{1.8} * 1 = 0.7 \% \text{ d } p$$

Se observa que la tubería tiene una caída de presión proyectada, muy baja, de 0.76 % mucho menor que el 5% admisible, por lo que se renovará la tubería, con el mismo diámetro.

Tabla de tolerancia en la longitud equivalente de la tubería para pérdidas por fricción en válvulas y accesorios con roscas (pies)

Accesorio o válvula	Dimensión de tuberías(pulgadas)							
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
Codo de 45 grados	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	4.0	5.0	6.0
Codo de 90 grados	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	8.0	10.0
"T" , paso	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
"T" , ramal	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	10.0	12.0	15.0
Válvula de compuerta	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0
Válvulas de balancín	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	3.0	3.7	4.5
Llave tipo obturador	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	3.0	3.7	4.5
Válvula de cierre a bisagra	5.6	8.4	11.2	14.0	16.8	22.4	28.0	33.6
Válvula de globo	15.0	20.0	25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	80.0
Válvula de ángulo	8.0	12.0	15.0	18.0	22.0	28.0	34.0	40.0

Tabla nr 4: Longitud equivalente de accesorios de tubería

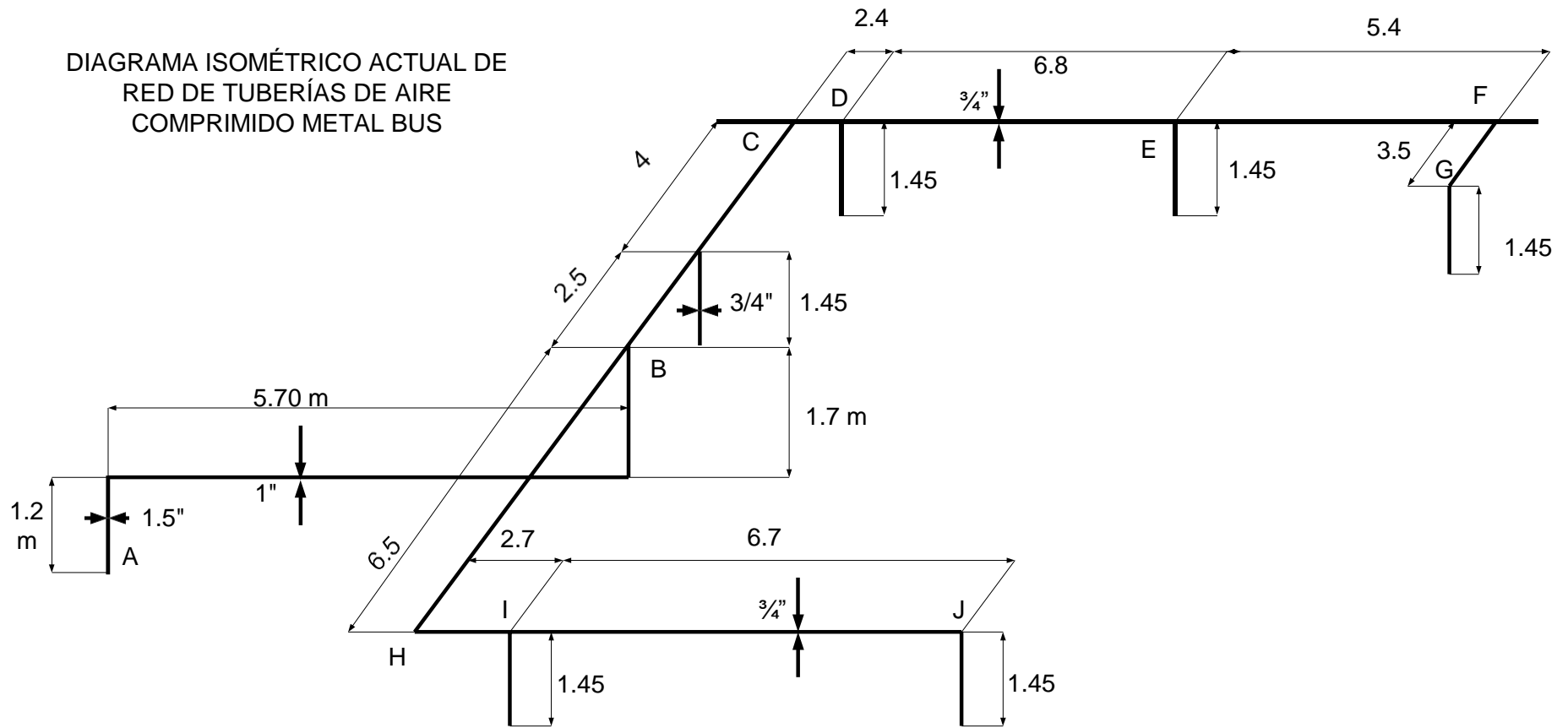


Figura nr. 3: diagrama isométrico de red actual de aire comprimido en Metal Bus. Elaboración propia.

3.2 Determinación de mejoras del sistema neumático

3.2.1 Mejoras en el sistema de generación de aire comprimido

a) Renovación del compresor.

El compresor, que es de pistones, con dos etapas de compresión, será reemplazado con un compresor de tornillo sinfín, de igual capacidad, el compresor antiguo será reparado y estará en stand by, en paralelo con el compresor antiguo y trabajará durante los períodos de mantenimiento del compresor nuevo, aproximadamente 10 días cada tres meses al año; para tener alta disponibilidad y confiabilidad en la red de aire comprimido.

Flujo de aire libre: 2.5 m³/min

- Presión de salida del compresor: 10 bar, manométricos
- Temperatura del aire comprimido: 35°C
- Eficiencia volumétrica: 82%
- Tipo: a tornillo sinfín

De similar modo, el motor trifásico será reparado y verificadas sus características, para ser repotenciado.

b) Renovación del Motor eléctrico

El motor eléctrico que accionará el compresor nuevo será trifásico:

- En jaula de ardilla
- Tensión nominal: 460 V
- Factor de potencia: 0.86 Hz
- Potencia nominal: 20 kW
- Frecuencia de la red eléctrica: 60 Hz
- De alta eficiencia, tipo Premium
- Protección IP5
- Arranque con arrancador de estado sólido
- Con condensador para mejorar el factor de potencia, hasta 0.99

c) **Instalación de secador frigorífico**

Para el aumento de la calidad del aire, que se reflejará en menor humedad, se instalará un secador frigorífico, con temperatura de rocío de 2 °C, a 10 bar.

- Capacidad del secador frigorífico:

Flujo másico de aire comprimido:

$$m_{a \text{ -li}} \left(\frac{k}{s} \right) = V_{a \text{ -li}} * \rho_{a \text{ -li}}$$

$$m_{a \text{ -li}} \left(\frac{k}{s} \right) = 0.0 \frac{m^3}{s} * 1.1 \frac{k}{m^3} = 0.0 \frac{k}{s}$$

Capacidad de enfriamiento del secador frigorífico, Qu

$$Q_{u-s \text{ -f}} (k) = m_{a \text{ -li}} \left(\frac{k}{s} \right) * (h_{a \text{ -i}} - h_{a \text{ -f}}) \left(\frac{k}{k} \right)$$

En la cual:

- haire-in: entalpía del aire al ingreso del secador, kJ/kg
- haire-fi: entalpía del aire al salir del secador, kJ/kg

Entalpía del aire húmedo:

$$h_{a \text{ húm}} = 1.0 * t_{a} + h_{a \text{ húm}} * (1 + 1.8 * t_{a}) \left[\frac{k}{k - a \text{ s } 0.} \right]$$

Aire entrada al secador frigorífico:

- Temperatura inicial, al secador: 35°C
- Humedad relativa: 70%
- De tablas, humedad absoluta x₁: 0.02520 kg agua/kg aire seco

$$h_{a \text{ -i}} = 1.0 * 3 + 0.02520 * (2 + 1.8 * 3) = 1.0 \left(\frac{k}{k - a \text{ s } 0.} \right)$$

Aire salida del secador frigorífico:

- Temperatura inicial, al secador: 2°C

- Humedad relativa: 5 %
- De tablas, humedad absoluta x_2 : 0.00022 kg agua/kg aire seco

$$h_{a-f} = 1.0 \cdot 2 + 0.0 \cdot (2 + 1.8 \cdot 2) = 2.5 \left(\frac{\text{k}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \right)$$

$$Q_{u-s-f} \text{ (k)} = 0.0 \frac{\text{k}}{\text{s}} \cdot (1.0 - 2.5) \frac{\text{k}}{\text{kg}} = 4.2 \text{ k}$$

Entonces, la potencia del secador frigorífico de aire será de Q_{u-n} : 5 kw.

3.2.2 Mejoras en el sistema de transporte de aire comprimido

Se cambiará tubería y accesorios actuales por tubo de acero al carbono galvanizado, cédula nr. 40, dn = 1''; así como los accesorios:

- Válvulas de compuerta: dos piezas, dn: 1''
- Válvulas antirretornos, una pieza, dn = 1''
- Válvula de seguridad, una pieza, dn: 1'', pmáx: 10.5 bar
- Tres codos rectos de 90°, radio corto, se cambiarán por codos radio largo, dn: 1''

3.2.3 Mejoras en el sistema de utilización de aire comprimido

Se renovará las herramientas neumáticas:

a) Amoladora / Rectificadora Neumática de 1/4"

- Caudal de aire libre: 4 = pie³/min = 0.25 m³/min. Número de piezas: cuatro.

b) Taladro neumático:

- Caudal de aire libre: 0.15 m³/min. Número de piezas: Tres

c) Atornilladora neumática:

- Caudal de aire libre: 0.375 m³/min. Número de piezas: cuatro

d) Pistolas de pintar

- Caudal de aire libre: 0.175 m³/min. Número de piezas: cuatro

e) Llaves dinamométricas:

- 0.25 m³/min. Número de piezas: cuatro

Demanda nominal total de aire libre, en condiciones proyectadas:

$$4 * 0.25 + 3 * 0.15 + 3 * 0.30 + 4 * 0.175 + 4 * 0.25 = 3.85 \text{ m}^3/\text{m}$$

Potencia mecánica del compresor nuevo

$$P_{cc} = \frac{\frac{1.4}{1.4 - 1} * 0.8 * 1^5 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.0 \right] \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left[\left(\frac{1}{0.8} \right)^{\frac{1.4 - 1}{1.4}} - 1 \right] \right]}{8}$$

$$= 2.9 \text{ k}$$

Potencia del motor eléctrico nuevo

$$P_M = \frac{P_{cc}}{\eta_m} * 1.2 = \frac{2.9}{0.9} * 1.2 = 3 \text{ k}$$

Parámetros del motor nuevo:

- Pn: 30 kw
- Tensión nominal: 460 V
- Factor de potencia: 0.86
- Eficiencia: 94.5%
- Frecuencia de la red eléctrica: 60 Hz
- De alta eficiencia, tipo Premium
- Protección IP5
- Arranque con arrancador de estado sólido

Se renovará los equipos de preparación de aire:

- 17 Filtros cerámicos, dn = ¼’’
- 17 Reguladores de presión, dn = ¼’’, pmax: 15 bar, pmin = 2 bar, Vn = 1.5 m³/min

Sistema de arranque del motor trifásico nuevo

Se aplicará el método de caída admisible de tensión

Se asume caída admisible de tensión, ΔUadm igual a 1.5% de Un:

$$\Delta U_{ad} = 0.015 * 460 = 6.9 \text{ V}$$

Intensidad nominal del motor eléctrico, In:

$$I_{n-d} (A) = \frac{P_n(w)}{\sqrt{3} U_n(V) * C * \eta_M} = \frac{3,0 w}{\sqrt{3} * 4 * 0.8 * 0.9} = 4.3 A$$

El conductor es de cobre y será del tipo THW 90:

$$\Delta_{c} = \sqrt{3} * R_{L-c} * I_L(A)$$

$$\rightarrow 6.9 V = \sqrt{3} * R_{L-c} * 4.3 A$$

Despejando, se determina la resistencia de línea del conductor:

$$R_{L-c} = \frac{\Delta_{c}}{\sqrt{3} * I_L(A)} = \frac{6.9 V}{\sqrt{3} * 4.3 A} = 0.0 \Omega$$

De la ecuación de la Resistencia óhmica de la línea:

$$R_{L-c} = 0.0 = \rho_c * \frac{L_c}{S_c} = 0.0 \frac{\Omega * m}{m} * \frac{23.5 m}{S_c}$$

En la cual:

- ρ_c : resistividad eléctrica del cobre (w/(mm2*°C))
- L_{cond} : longitud del cable: 23.5 m
- S_{cond} : sección transversal del cable (mm2)

Despejando, se obtiene la sección transversal del conductor necesario:

$$S_c = \frac{0.0 * 23.5}{0.0} = 4.7 m^2$$

De tabla para cable THW 90, se obtiene conductor calibre 8:

TABLA DE DATOS TÉCNICOS THW-90 (AWG / MCM)									
Calibre del conductor	Sección nominal	Numero de hilos	Diámetro del hilo	Diámetro del conductor	Espesor del aislamiento	Diámetro exterior	Peso	Amperaje	
								Aire	Ducto
AWG/MCM	m ²		Mm	mm	Mm	Mm	KG	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

Tabla nr.5: Características de conductor trifásico THW – 90 en Baja Tensión

(Fuente: indeco)

El conductor seleccionado tiene los siguientes parámetros:

- Sección transversal: 3 x 8.4 mm², en tubo; con:
- Intensidad nominal: 80 A
- Temperatura máxima: 75°C
- Temperatura de referencia: 30°C
- Intensidad máxima de operación: 46.33 A
- Factor de potencia: 0.873
- Longitud: 23.5 m

Índice de carga del conductor:

$$\alpha_0 = \frac{I_o}{I_n} = \frac{4 \cdot 3 \text{ A}}{8} = 0.5$$

Caída de tensión real en conductor:

$$\Delta_r = \sqrt{3} * R_L * I_L(A)$$

En la cual, la resistencia de línea es:

$$R_L = 0.0 * \frac{2.5}{8.4} = 0.0 \quad \Omega$$

$$\rightarrow \Delta_r = \sqrt{3} * 0.0 * 4.3 = 3.9 \text{ V} = 0.8 \quad \%$$

Potencia perdida en conductor:

$$P_p = \frac{3 * R_L(\Omega) * I_L^2(A^2)}{1} (k) = \frac{3 * 0.0 * 4.3^2}{1} = 0.3 \quad k$$

Potencia entrada en conductor:

$$P_1 = \frac{3}{0.9} = 3.7 \quad k$$

$$E \quad d \quad c \quad \eta_{L-2} = 1 - \frac{P_p}{P_1} = 1 - \frac{0.3}{3.7} = 9 \quad \%$$

Temperatura de operación del conductor:

$$T_{o \quad L-2} = t_0 + (t_{11} - t_0) * \alpha_{L-2}^2 = 3 + (9 - 3) * 0.5^2 = 5.1 \quad ^\circ\text{C} < 7 \quad ^\circ\text{C}$$

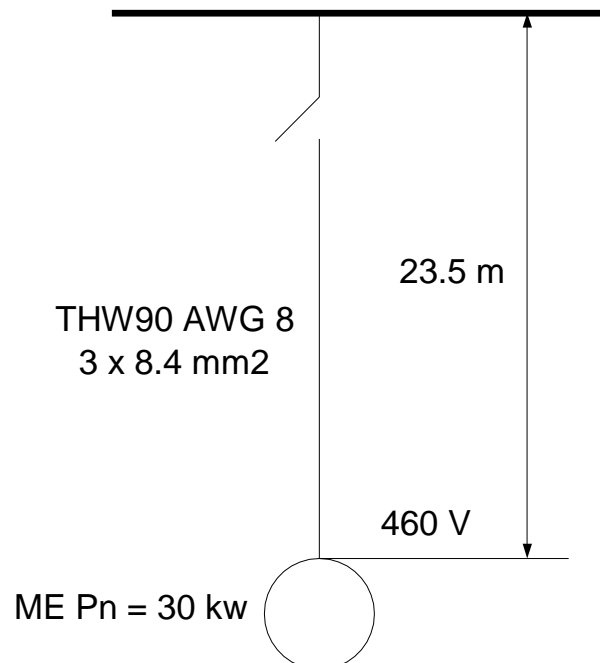


Figura nr4.: esquema de cálculo conductor para motor trifásico. Elaboración propia

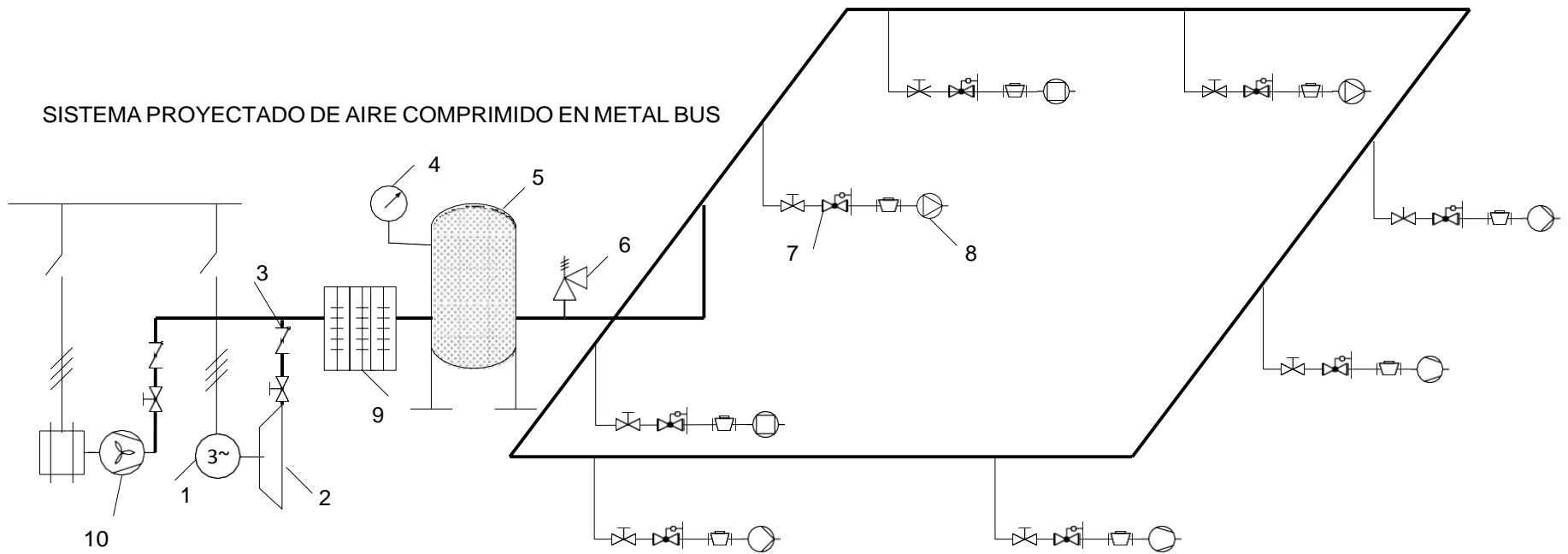


Figura nr. 5: Red actual de aire comprimido en la empresa- Elaboración propia
 Leyenda: 1: Motor trifásico, Pn = 45 kw, 2: Compresor de aire, a pistones, 3: Válvula anti retorno, 4: Manómetro de alta presión, bar; 5: tanque de almacenamiento de aire comprimido, 6: Válvula de seguridad, 7: grupo de preparación de aire comprimido Filtro, Regulador y Lubricador, 8: Equipo neumático, a 5.5. bar, 9: Secador frigorífico, 10: Compresor nuevo, de tornillo sinfín

3.3 Análisis económico

3.3.1 Inversiones en activos, materiales e insumos y MO:

Lista de equipos, materiales e insumos Red aire comprimido en la empresa					
Ítem	Denominación	Cantidad	UM	Cunit, Soles/UM	Sub total, soles
1	Compresor de aire con tornillo sinfín, 3.5 m3/min	1	Pieza	22,500.00	S/22,500
2	Motor eléctrico trifásico, 30 kW, 460 V, 60 Hz	1	Pieza	8,625.00	S/8,625
3	Conductor trifásico THW90 AWG 8	25	m	16.75	S/419
4	Interruptor termo magnético 75 A	1	Pieza	425.00	S/425
5	Interruptor diferencial 20 ms, 75 A	1	Pieza	375.00	S/375
6	Tablero arranque ME	1	Pieza	950.00	S/950
7	Conexión puesta a Tierra	1	Pieza	2,100.00	S/2,100
8	Obras civiles: Base ME y compresor	1	Pieza	1,500.00	S/1,500
9	Secador frigorífico, 3.5 m3/min, 2 °C	1	Pieza	3,620.00	S/3,620
10	Válvulas de paso recto, con diafragma, dn = 1", pn = 15 bar	3	Piezas	432.00	S/1,296
11	Tanque almacenamiento aire comprimido, acero ASTM A 53	1	Pieza	2,762.00	S/2,762
12	Tubería acero ASTM A 53, dn = 1", Cédula 40	65	m	20.83	S/1,354
13	Accesorios hidráulicos línea aire comprimido	24	Piezas	4.25	S/102
14	Amoladora neumática, 0.45 m3/min	4	Piezas	1,750.00	S/7,000
15	Atornilladora neumática, 0.4 m3/min	4	Piezas	1,622.00	S/6,488
16	Pistolas neumáticas de pintar	4	Piezas	623.00	S/2,492
17	Llaves dinamométricas neumática, 0.6 m3/min	4	Piezas	2,162.00	S/8,648
18	Soportes de acero para tubos, ángulos 1/8"x 1.52"x 6 m	12	Piezas	122.00	S/1,464
19	Grupo preparación aire comprimido	17	Piezas	225.00	S/3,825

19	Ferretería	1	kit	750.00	S/750
20	Mano de obra para Obras Civiles	200	HH	10.55	S/2,110
21	Mano de obra para Trabajos eléctricos	150	HH	10.55	S/1,583
22	Mano de obra para Trabajos Mecánicas	310	HH	10.55	S/3,271
23	Instrumentos para técnicas predictivas				
24	Analizador termo gráfico	1	Pieza	4500	S/4,500
25	Analizador de vibraciones	1	Pieza	4000	S/4,000
26	Analizador de lubricantes	1	Pieza	3725	S/3,725
27	Ingeniería de detalle y planos	1	Pieza	7200	7200
28	Capacitación del personal	2	veces	3500	7000
				Inversión total estimada	S/110,083

Tabla nr. 6: Inversiones en activos e insumos. Elaboración propia

3.3.2 Beneficio económico bruto:

Se estima que, con la ampliación y mejora del sistema, se pueda atender el ensamble de por lo menos 4 carrocerías de autobuses adicionales por mes.

Precio de venta de una carrocería de autobús, dato de planta: 62,500 soles/carrocería

Utilidad neta por venta de una carrocería, 25% del precio de venta: 15,625 soles

Utilidad estimada que le corresponde a la red de aire comprimido:

Se prorroga entre los tres talleres que serán ampliados: De maquinado, de estructuras metálicas y de red neumática para montaje; a la red nueva le corresponde generar una utilidad de 5,208 soles/mes, en total 20,832 soles/mes.

Se tiene, utilidad bruta que generará la red nueva de aire comprimido:

4 carrocerías/mes * 5,208 soles/carrocería * 12 meses/año = 249,998 soles/año.

3.3.3 Beneficio neto anual por incremento de la red de aire comprimido:

El beneficio neto estará dado por la diferencia del beneficio bruto menos el costo de operación y el de mantenimiento. El costo de operación será el mismo, pues no se pondrá más personal para supervisar la operación del nuevo sistema. El costo de mantenimiento, sí aumenta:

- **Costo de mano de obra:**

Tres veces/año x 2500 soles/vez = 7500 soles/año

- **Costo de insumos de mantenimiento:**

Tres veces/año x 1600 soles/vez: 4,800 soles/año

Resulta el beneficio neto por mejora de la red de aire comprimido:

B neto: 249,998 – 7,500 – 4,800 = 237,698 soles/año

3.3.4 Período de retorno de la inversión, PRI

$$P = \frac{I_n (S/m)}{B_n (S/m)} = \frac{1,0}{2,6} = 0.4 \text{ año} = 5.5 \text{ m}$$

IV. DISCUSIÓN

A) Al realizar la auditoria del sistema neumático en la empresa de rubro metalmecánica, se determina la capacidad actual en /min del sistema de aire comprimido, midiendo su tiempo de llenado del tanque, de 2.95 m³ de capacidad; desde 1 bar absoluto hasta los 10 bar absolutos, que es la presión máxima, se aplica las ecuaciones del gas perfecto, calculando la densidad del aire comprimido, de 12.8 kg/*m³, y se halló el tiempo, el cual fue de 1080 segundos, 18 minutos, siendo la masa de aire comprimido total, de 37.69 kg.

Dividiendo la masa total entre el tiempo total de llenado se obtuvo el flujo másico de aire, que proporciona el compresor. Volviendo a utilizar las ecuaciones de gas perfectos, en condiciones medio ambientales, se obtiene el flujo volumétrico de aire libre, que resultó ser de 0.037 m³/s = 2.22 m³/min, menor que la nominal, de 3 m³/min.

Si bien el método es válido, es un método indirecto, otro método, directo, sería el de medir directamente el flujo másico o volumétrico, utilizando flujómetros específicos para el caso.

B) Al analizar el motivo de la reducción en la capacidad del compresor a pistones, se deduce que es debido a la reducción de la eficiencia volumétrica del compresor, debido, a su vez, por el desgaste, para lo cual se hace uso de la ecuación de potencia del compresor:

Para hallar la potencia del compresor y despejar el rendimiento volumétrico, se optó por medir los parámetros eléctricos del motor de accionamiento, Resultó que el rendimiento volumétrico del compresor actual es de 71%, se ha reducido en 3%, desde 74% nominal. El compresor necesita mantenimiento de repotenciación para recuperar su capacidad nominal. Se puede indicar que el método utilizado es válido, en cualquier circunstancia, pues se han empleado ecuaciones del gas perfecto aceptadas universalmente y dispositivos de medida eléctricos industriales.

C) Con este flujo y conociendo la sección transversal de la tubería, se pudo determinar las velocidades en la situación actual y en la proyectada, para la tubería principal, de 1'', y para el $V_n = 3 \text{ m}^3/\text{min}$, resultó velocidad del aire de 6.28 m/s, baja, el rango permitido, es 8...15 m/s, es decir, está en la zona de baja velocidad. Para el aumento proyectado de 50% de la carga, la velocidad del aire alcanza los 9.42 m/s, está en el rango recomendado.

Al verificar la capacidad de tuberías red de aire comprimido, una vez determinado el flujo máximo de aire en el sistema, se emplearon las ecuaciones de continuidad y de flujos másicos y volumétricos, así como los de gases perfectos, para hallar los parámetros del flujo de aire

comprimido: velocidad, caída de presión, que indiquen si la tubería ha sido bien diseñada, y realizar el rediseño, de ser necesario.

D) Se estima que, con la ampliación y mejora de la red de aire comprimido, se pueda 4 carrocerías de autobuses adicionales por mes.

La red nueva le corresponde generar una utilidad de 5,208 soles/mes, en total 20,832 soles/mes.

Precio de venta de una carrocería de autobús, dato de planta: 62,500 soles/carrocería

Utilidad neta por venta de una carrocería, 25% del precio de venta: 15,625 soles.

Se tienen utilidades brutas que generará la red nueva de aire comprimido

4 carrocerías/mes *5208 soles/carrocería*12meses/año=249998soles/año.

Costo de mano de obra tres veces al año

7500soles /año, mantenimiento 3 veces=4800soles /año.

Resulta el beneficio neto por mejora del aire comprimido

249998-7500-4800=237698soles/año.

Periodo de retorno

$$P : \frac{I_i}{B} \frac{\dot{n} (S)}{n \left(\frac{S}{m}\right)} = \frac{1,0}{2,69} = 0.4 \text{ año} = 5.5 \text{ m}$$

V. CONCLUSIONES

A) Se realizó la auditoria del sistema neumático en la empresa de rubro metalmecánica, buscando determinar la capacidad actual (Nm^3/min) del sistema de aire comprimido, comparando con su capacidad nominal, que es de $3 \text{ m}^3/\text{min}$., resultando ser de $2.22 \text{ m}^3/\text{min}$. También se determinó la causa de la reducción de capacidad del compresor actual, resultando ser la reducción de la eficiencia del compresor a pistones.

Se concluye, en este punto; que el sistema ha perdido capacidad de generación de aire comprimido, por desgaste de los elementos de compresión, es decir, cilindros y pistones, requiriendo mantenimiento de reparación.

B) Se hizo la Verificación de la capacidad de tuberías, para la tubería principal, de 1 pulgada, y para el flujo nominal, de $3 \text{ m}^3/\text{min}$, se tiene una velocidad del aire de 6.28 m/s , un poco baja, en relación al rango permitido, de $10 \dots 15 \text{ m/s}$, es decir, está en la zona de baja velocidad. Al analizar la tubería para un aumento proyectado de 50% de la carga, se observó que la velocidad del aire alcanza los 9.42 m/s .

Al verificar la caída de presión actual, para carga máxima, se obtiene solamente 0.034 bar , 0.34% de la presión inicial, bastante baja. Con el 50% de carga adicional, la pérdida de presión en la línea es 0.076 bar , 0.76% de la presión inicial de aire comprimido.

Se concluye, en este caso, que la tubería inicial ha sido sobre dimensionada, para $3 \text{ m}^3/\text{min}$ de aire libre, y puede soportar la carga adicional de 50% de flujo de aire, es decir, se deberá utilizar tubería de $dn = 1$ pulgada, sin costura, acero ASTM A 53, para las nuevas condiciones, renovando la anterior, que ya está corroída y tiene desgaste severo.

C) Se determinó mejoras del sistema neumático, siendo las siguientes:

Renovación del compresor. Adicional al actual, que es de pistones, con dos etapas de compresión, será reemplazado con un compresor de tornillo sinfín, de igual capacidad, el compresor antiguo será reparado y estará en stand by, en paralelo con el compresor antiguo y trabajará durante los períodos de mantenimiento del compresor nuevo.

Renovación del Motor eléctrico actual

- El motor eléctrico que accionará el compresor reparado será trifásico:
- En jaula de ardilla, 460 V , $\cos\phi: 0.86$ Hz, $P_n: 20 \text{ kW}$, $f: 60 \text{ Hz}$

Instalación de secador frigorífico

Para el aumento de la calidad del aire, que se reflejará en menor humedad, se instalará un secador frigorífico, con temperatura de rocío de 2 °C, a 10 bar, con capacidad de enfriamiento de 5 kW

Mejoras en el sistema de transporte de aire comprimido

Se cambiará tubería y accesorios actuales por tubo de acero al carbono galvanizado, cédula nr. 40, dn = 1''; así como todos sus accesorios.

Mejoras en el sistema de utilización de aire comprimido

Se renovará las herramientas neumáticas: 4 Amoladoras neumáticas, tres taladros neumáticos, 4 atornilladores neumáticas, cuatro pistolas de pintar y cuatro Llaves dinámicas neumáticas, que, en total, darán una demanda de aire libre de 3.85 m³/min y será necesario un Motor de 30 kW.

Se concluye que, debido al tiempo de operación de los equipos actuales, consumidores de aire comprimido, de más de 15 años, se deberán renovar todas las herramientas neumáticas. También se concluye que es necesario renovar todos los grupos de preparación de aire comprimido, como son el filtro más regulador de presión más el lubricador, 17 grupos en total.

Para el motor del nuevo compresor, a tornillo sinfín, de 30 kW, se determinó, en base a caída de tensión admisible, el cable necesario. Se concluye que, para obtener una razonable caída de tensión, de 3.94 V, con pérdida máxima de potencia de 0.136 kW, se debe utilizar el conductor trifásico tipo THW90, que soporta hasta 90°C, con sección transversal de 8.4 mm², y soporta intensidad máxima de 80 A, y una máxima temperatura a 50.18 °C < 80°C

D) Se realizó el análisis económico, concluyendo que es necesario invertir 110,083 soles, y se obtendría un beneficio neto de 237,638 soles/año, con lo cual el retorno de la inversión se haría en 0.46 años, 5.52 meses, se concluye que el proyecto de mejora es positivo

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar los resultados obtenidos en el estudio presentado, pues se demuestra que se obtiene la capacidad proyectada, así como una mayor eficiencia y menor costo de operación.

Es necesario realizar pruebas de estanqueidad en el sistema, una vez que esté implementado, para obtener mayor confiabilidad de operación y seguridad personal.

Se recomienda que en la empresa de rubro metalmecánica se implementen mejores prácticas operacionales, en el sentido de utilizar el aire comprimido estrictamente para el accionamiento de los equipos y herramientas neumáticas.

Es necesario que, para sostener los resultados del presente estudio, en cuanto a capacidad de suministro de aire comprimido, eficiencia y costo de operación, se diseñe e implemente un plan de mantenimiento preventivo, de preferencia asistido con técnicas predictivas, para programar la frecuencia e intensidad de mantenimiento de partes de la red de aire comprimido.

Se recomienda hacer un estudio de eficiencia energética para el sistema a ser implementado, con el objetivo de establecer un programa de mejora y eficiencia de energía en la red de aire y contribuir a reducir costos, así mismo, analizar la posibilidad de aplicar enfoques de control automático, para disminuir los gastos de energía.

Es necesario capacitar al personal de mantenimiento en la nueva tecnología de generación de aire comprimido, pues se está implementando un sistema de compresión con tornillos sinfín, auto lubricados, por el sistema tradicional de pistones.

Se recomienda diseñar e implementar formatos de registro y control de los parámetros del sistema de aire comprimido con los principales variables: potencia absorbida, kW, rendimiento del motor, %; capacidad del compresor, m³/min, presiones de succión y de salida, bar; temperatura del aire comprimido, humedad final del aire comprimido, que permitan definir el sistema y frecuencia de mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS

- PÉREZ, Manso. Ingeniería Química, 398. Cálculo Básico de una instalación de transporte neumático de sólidos. Febrero (2003).
- Cátedra de Mecánica de Fluidos, ETSII de Barcelona, Universidad Politécnica de Barcelona, Curso sobre diseño de instalaciones de transporte neumático. Febrero (1980)
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Guía técnica de sistemas de aire comprimido, Ciudad de México,(2014).
- Department of Energy DOE. A sourcebook for industry improving compressed air system performance, (2003).
- D. mills, M.G jones, V.K agarwal Ed. Marcel Dekker Handbook of Pneumatic conveying Engineering, New York (2004).
- CAMPOS, carlos ‘Eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido’. Universidad Autónoma de Occidente.
- GUERRERO O. Ecuación Modificada de Colebrook-White. Revista Ingeniería Hidráulica de México, Vol. X, pp. 43-48, Enero-Abril. - Manual de aire comprimido 7ª Edición. Atlas Copco, (1995).
- GUTIÉRREZ Montenegro, Carlos: ‘Eficiencia energética en sistemas de producción de aire comprimido’, Centro Tecnológico de eficiencia y sostenibilidad energética. Energylab.
- G.E. Klinzing. Chapman& Hall, Pneumatic conveying of solids: a theoretical and practical approach. Los Angeles, (2007).
- INACAP, Neumática Industrial 1º Edn, .. Quito, mayo (2001).
- Ingersoll Rand, Guía sobre la calidad del aire, (2013).
- Manual de aire comprimido. Atlas Copco. Edición (2011).
- MICHAEL frankel, Compressed air Piping Systems, New York, (2015).
- Natural Resources Canada. “Compressors and Turbines” ISBN 0-662-14166-0, (1987)
- Sistema de aire comprimido, apuntes generales. indisa s.a. Ingeniería de proyectos. Bogotá,(2004).
- R.N. brown, Compressors: Selection and Sizing, 3rdEdn, p.35, Gulf Professional Publishing. (2005).
- RHODES M., “Introduction to particle technology”, Jon Wiley & Sons, 2nd Edition,
- SCALES, William. “Best Practices for Compressed Air Systems”, (2003).
- US Department of Energy. “Improving Compressed Air System Performance” DEO/GO-102003-1822, (2003).

- U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), ‘Improving compressed air system performance a source book for industry’. Universidad Politécnica de Cartagena, Guía software CAREAC, Julio (2010).
- WEBER, M. “Principles of Hydraulic and Pneumatic Conveying in Pipes”, Bulk Solids Handling, Vol. 1, No.1, Feb.(1981).
- SOTO, Propuesta de diseño de la red de aire comprimido de Industrias Ceresita S.A. para reducir los fallos en el sistema (2005).
- PALMA, Juan .Rediseñar la distribución y tratamiento de aire comprimido de la empresa Camposol S.A., para evitar o reducir residuos de aceite que contaminan los productos (2017).
- TOASA, Edgar .Diseño de la red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la escuela de ingeniería industrial de la facultad mecánica-Espoch (2014).
- CHERREZ, Mario. Rediseño del sistema de aire comprimido de la instalación de bombeo-faisanes del poliducto Esmeralda-QUITO-MACUL (2010).
- CASTILLO, Juan Pablo .Rediseño y montaje de un sistema de aire comprimido a 40 BAR de presión para líneas de soplado de presión (2009).
- VERA, freddy.Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para laboratorio de neumática (2018).
- VIMOS, Pedro Jacinto.diseño de un plan de mantenimiento preventivo para compresores de aire comprimido para la empresa AISER S.A (2017).

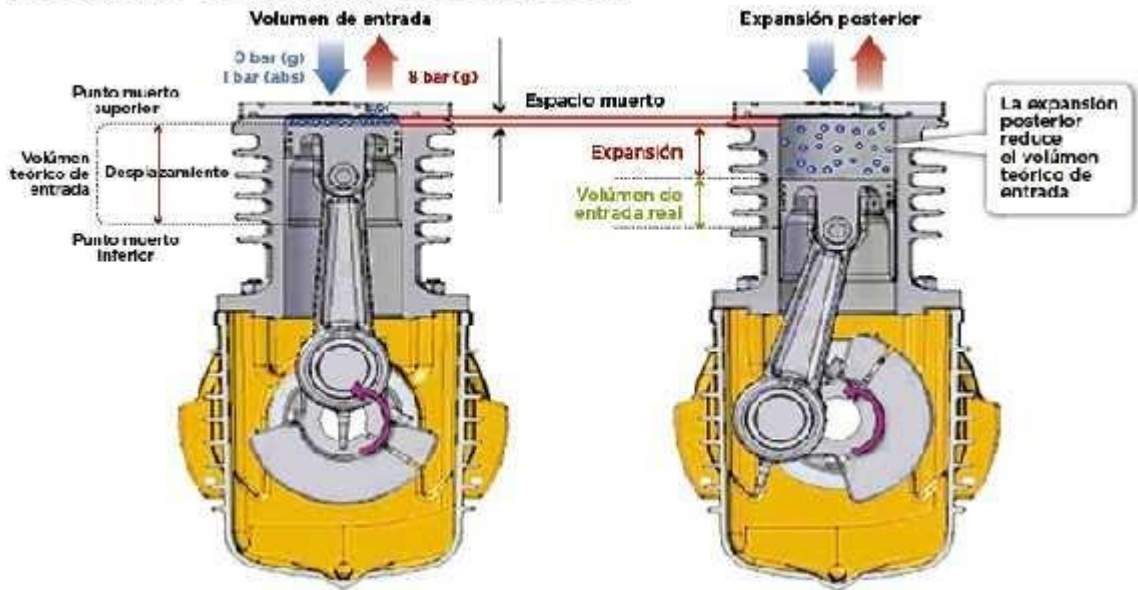
ANEXOS

Anexo 1: Compresor a pistón con tanque de almacenamiento



Anexo 2: Partes de compresor a pistón

Mecanismo de un compresor de pistón



EL HERALDO

Anexo 3: Tabla selección de compresor a pistones

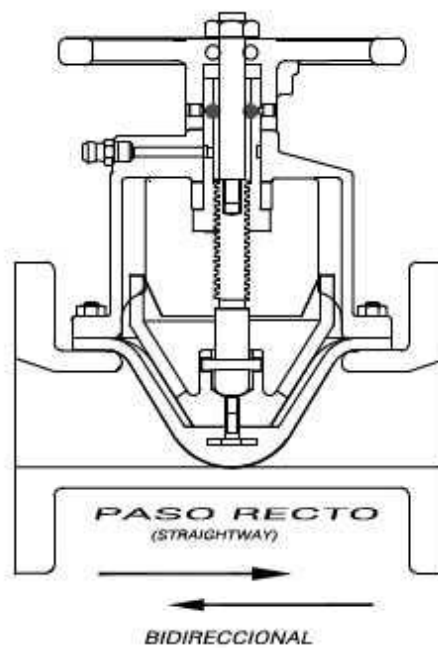
BOGE Tipo	Caudal de elevación (capacidad de aspiración)		Caudal volumétrico (cantidad suministrada conforme a DIN 1945)		Número de revoluciones del compresor min ⁻¹	Número de cilindros	Motor		Medidas A x P x H mm	Pérdida de aire	Peso aprox. kg	Demanda de aire de refrigeración m ³ /h
	l/min	cfm	l/min	cfm			kW	CV				
10 bar estándar												
RM 3300	3300	120	2720	100	1300	3	22.0	30	1600x 600x1500	DN 40	620	6600
RM 3630	3620	130	2930	110	1400	3	30.0	41	1600x 600x1500	(PN 16)	840	6700
RM 5000	5030	180	4040	145	1300	1	38.0	52	1600x 600x1500	DN 40	740	9300
RM 6200	6200	220	4840	170	1600	1	45.0	61	1600x 600x1500	(PN 16)	780	11000
15 bar estándar												
RM 2500	2500	90	1880	70	950	3	18.5	24	1600x 600x1500		600	4700
RM 2950	2950	100	2230	80	1150	3	22.0	30	1600x 600x1500	DN 40	620	5600
RM 3300	3340	120	2670	90	1300	3	30.0	41	1600x 600x1500	(PN 10)	640	6700
RM 3600	3600	130	2900	100	1400	3	37.0	50	1600x 600x1500		675	9300
25 y 30 bar estándar												
RH 2400	2400	90	1800	60	950	4	22.0	30	1600x 770x1500		680	6600
RH 2830	2830	100	2160	80	1100	1	37.0	50	1600x 770x1500		680	9300

Anexo 4: Válvulas de diafragma para aire comprimido

VÁLVULAS DE DIAFRAGMA TIPO PASO RECTO

la válvula LAVSA de PASO RECTO posee, al igual que el tipo VERTEDOR

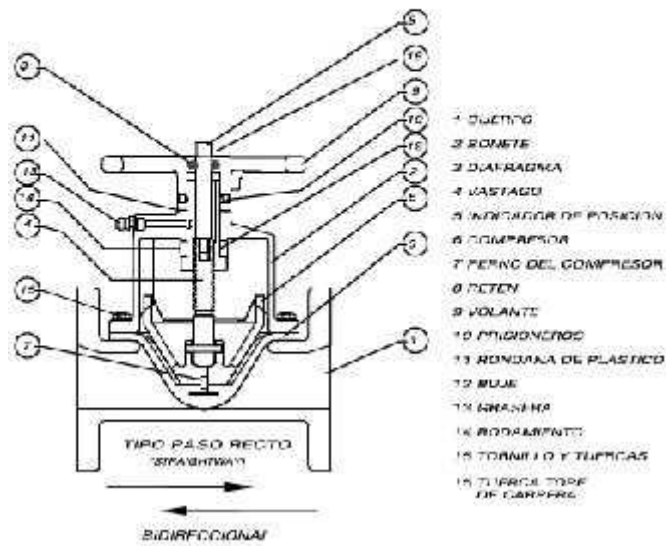
- * La misma versatilidad
- * Funcionamiento
- * Mismas características de diseño excepto
Un PASO RECTO TOTAL



Anexo 5: Válvula de paso recto para aire comprimido

VÁLVULA TIPO PASO RECTO
(STRAIGHTWAY)

PARTES QUE LA INTEGRAN



Anexo 6: Características de válvula de paso recto

La válvula de diafragma LAVSA de paso recto es...

Una prolongación de la tubería y una solución práctica a los problemas de:

- Abrasión
- Corrosión
- Contaminación
- Taponamiento

Sus características son:

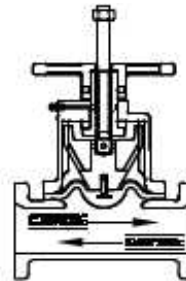
- Autodrenables
- Mínima caída de presión
- Sin cavidades
- Flujo bidireccional
- Mecanismo aislado

Aplicaciones típicas en el manejo de:

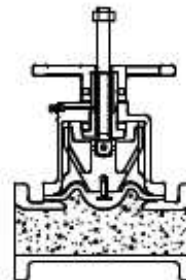
- Aguas negras
- Fluidos viscosos
- Lodos y lechadas
- Pastas Fibrosas
- Pulpas
- Sólidos en suspensión

Y en equipos de:

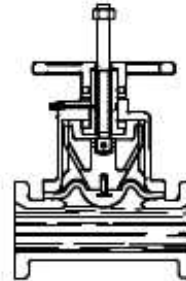
- Tratamientos de aguas negras
- Manejo de sólidos, etc.,



FLUJO BIDIRECCIONAL

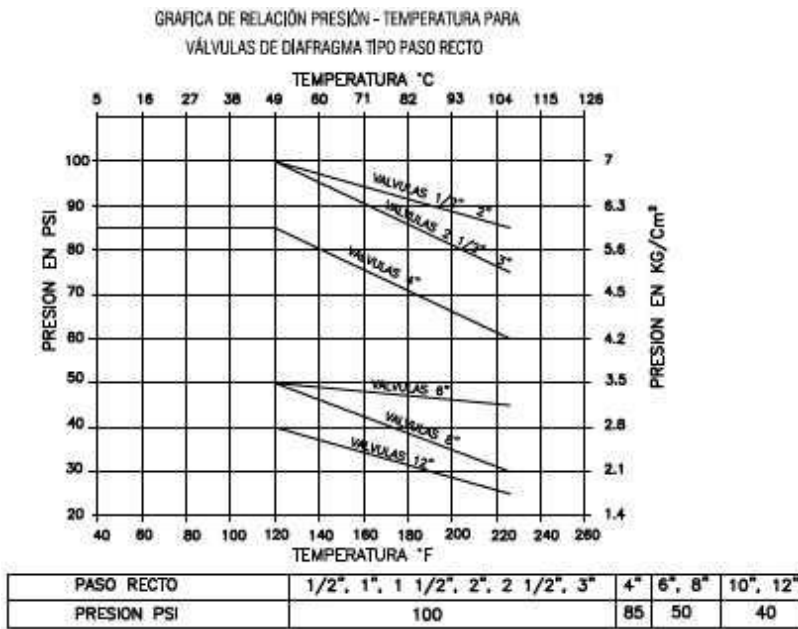


ABRACION Y CORROSION



FLUIDEZ A PRUEBA DE TAPONAMIENTOS

Anexo 7: Gráfico de presión y temperatura para válvulas de aire comprimido



Anexo 8: Coeficientes de capacidad para válvulas de paso recto

TABLAS DE COEFICIENTES DE FLUJO (CV) EN VÁLVULAS DE DIAFRAGMA
 TIPO PASO RECTO (STRAIGHTWAY)
 125 Y 150 (PSI) ANSI B16.1 Y B16.5

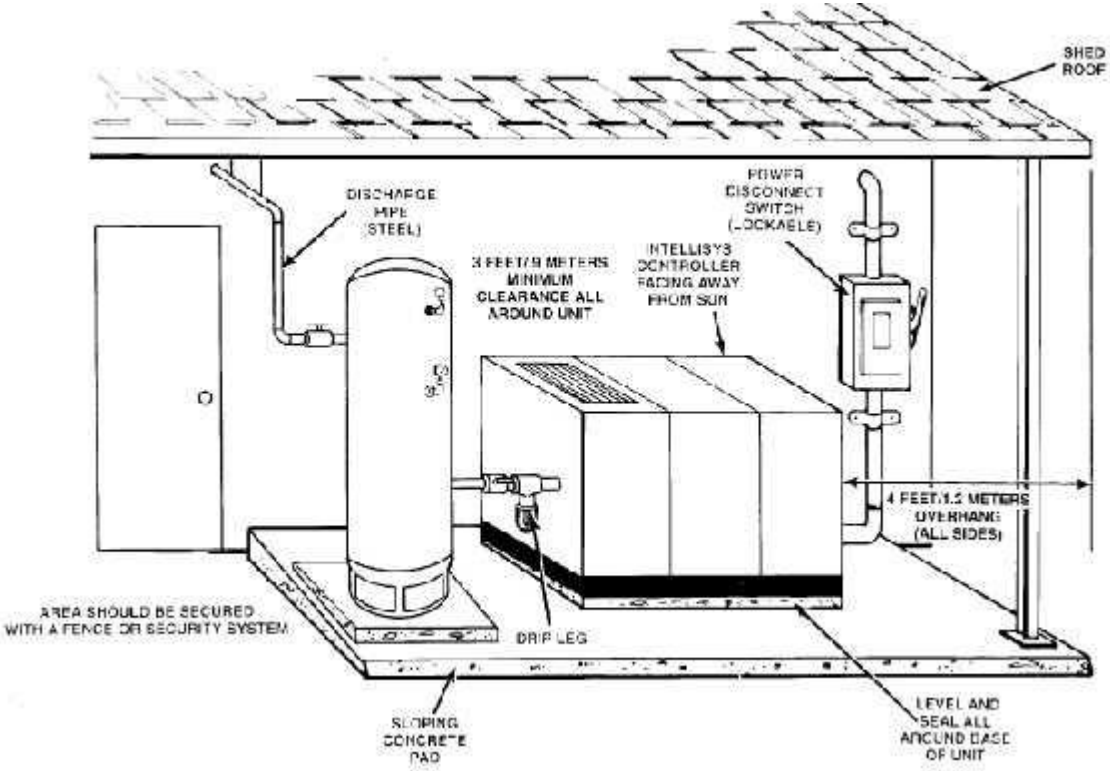
TAMAÑO	BRIDAS CON RECUBRIMIENTO DE HULE FLANGED END – RUBBER LINED									
	% DE APERTURA (%OPEN) (gal/min)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1"	1.1	2.6	4.1	5.6	6.8	8	8.5	9	9.5	10
1 1/2"	15.6	31	48	65	78	91	100	111	121	130
2"	31	62	96	130	156	182	200	221	242	260
2 1/2"	50	101	155	210	252	294	323	357	391	420
3"	58	115	178	240	288	336	370	408	446	480
4"	86	173	266	360	432	504	554	612	670	720
6"	283	566	873	1180	1416	1652	1817	2008	2195	2360
8"	530	1061	1635	2210	2652	3094	3403	3757	4111	4420
10"	906	1812	2794	3775	4530	5285	5813	6418	7021	7550
12"	1212	2424	3737	5050	6060	7070	7777	8585	9393	10100

TAMAÑO	BRIDAS CON RECUBRIMIENTO DE POLIPROPILENO Y TEFLON FLANGED END – PLASTIC LINED									
	% DE APERTURA (%OPEN) 125 Y 150 ANSI B16.5									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1"	5	10	15	20	25	29	32	35	38	40
1 1/2"	18	37	55	75	90	105	115	128	140	148
2"	36	72	110	148	177	208	238	250	273	295
2 1/2"	58	115	175	235	281	329	362	400	435	468
3"	68	133	205	273	227	402	419	463	508	545
4"	100	193	296	400	480	560	612	677	740	795
6"	300	600	922	1245	1502	1740	1915	2113	2310	2485
8"	555	1108	1707	2305	2765	3225	3550	3915	4303	4605

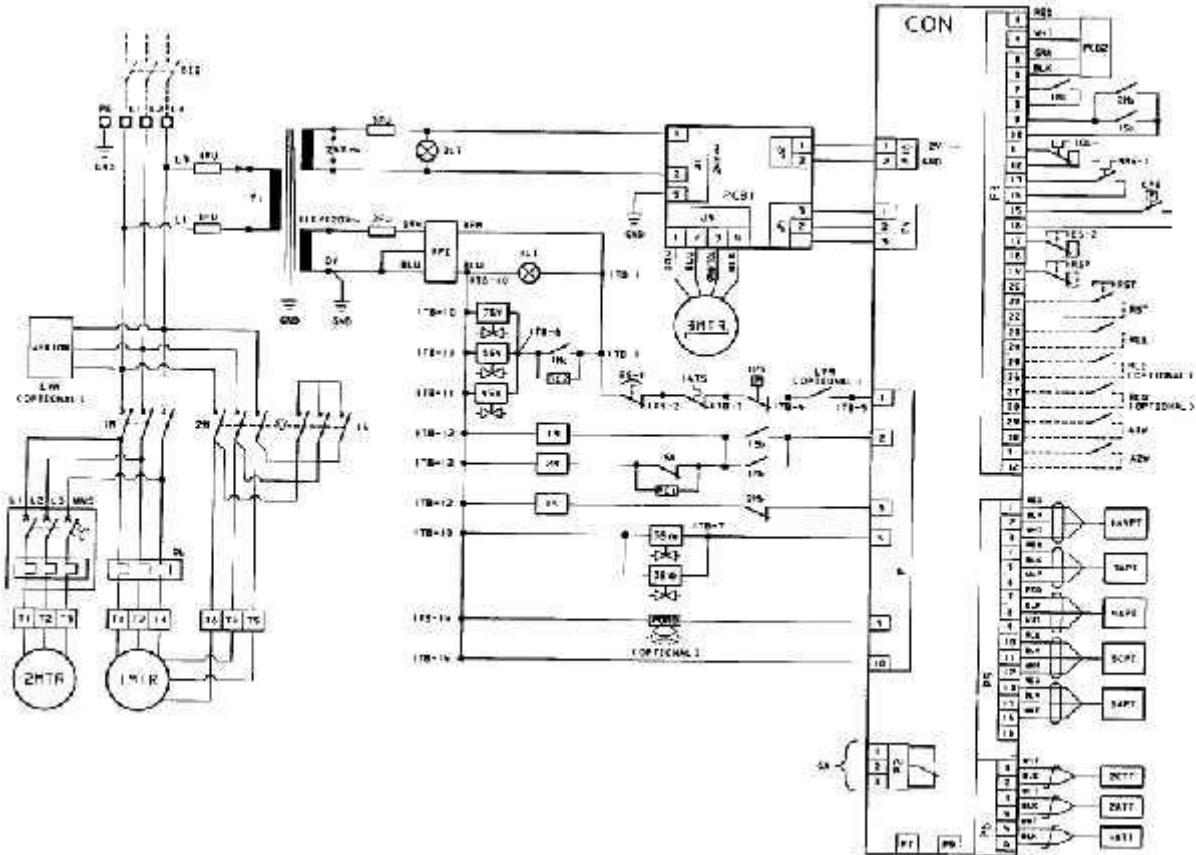
TAMAÑO	VIDRIO KYNAR* Y TEFLON* (PFA) GLASS / KYNAR* Y TEFLON* (PFA)									
	BRIDAS 125 Y 150 (PSI) ANSI B16.1 Y ANSI B16.5									
	% DE APERTURA									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1"	2	4	6	8	9	12	13	14	15	16
1 1/2"	18	37	56	76	92	106	117	129	142	152
2"	37	73	111	151	181	211	232	257	281	302
2 1/2"	58	117	179	242	290	339	372	410	449	484
3"	68	135	208	281	337	393	433	477	522	562
4"	99	198	304	411	493	575	632	699	764	822
6"	310	619	955	1290	1548	1805	1986	2192	2398	2579
8"	574	1148	1770	2392	2870	3349	3684	4066	4449	4784
10"	983	1964	3026	4087	4904	5720	6292	6947	7598	8170
12"	1311	2623	4043	5464	6557	7650	8415	9289	10163	10928

KYNAR Y TEFLON RECUBRIMIENTO EN POLVO (COATING)

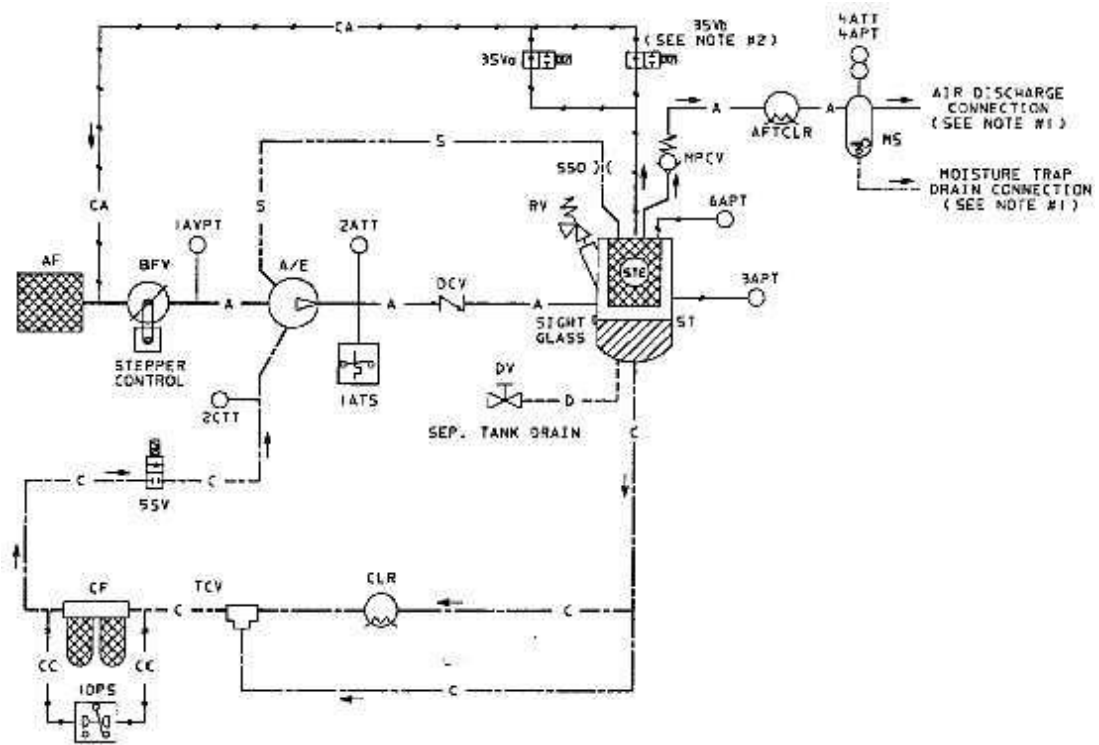
Anexo 9: Instalación típica de compresor a tornillo, fuera de taller



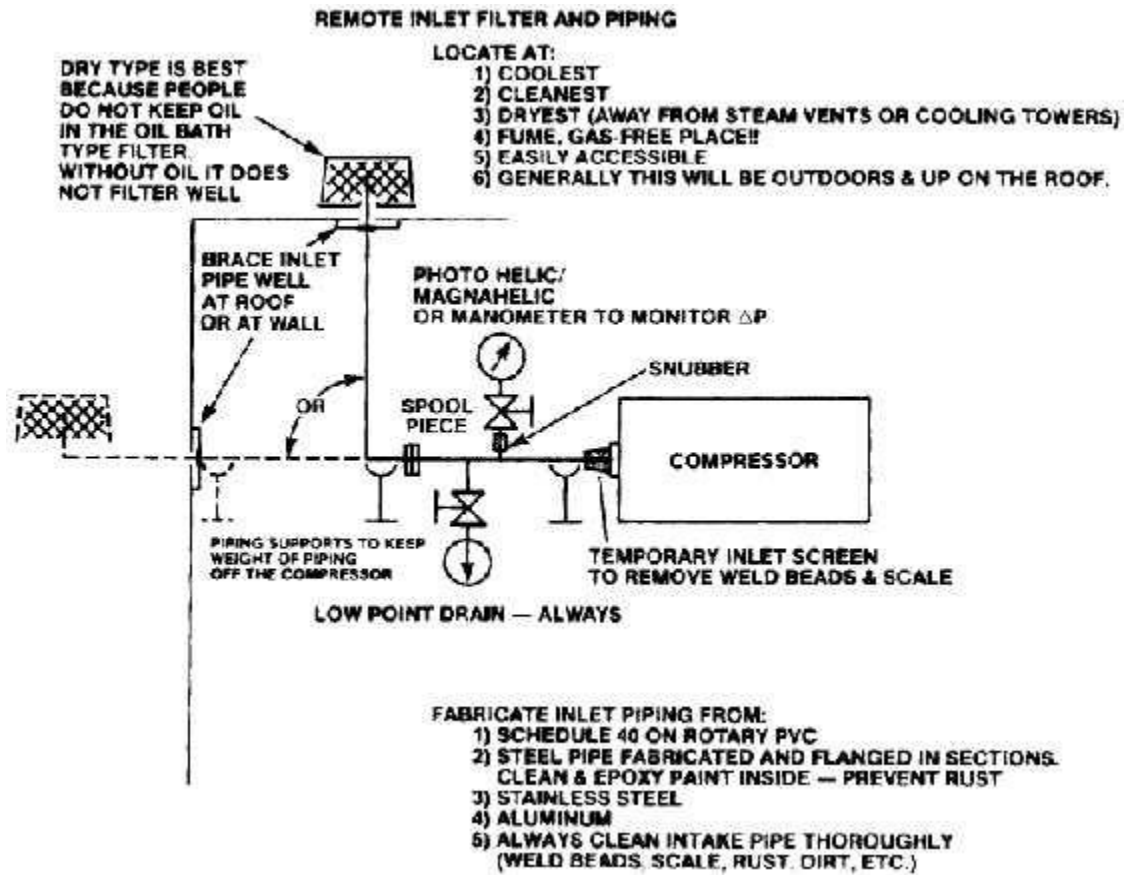
Anexo 10: Diagrama unifilar arranque y control de compresor a tornillo



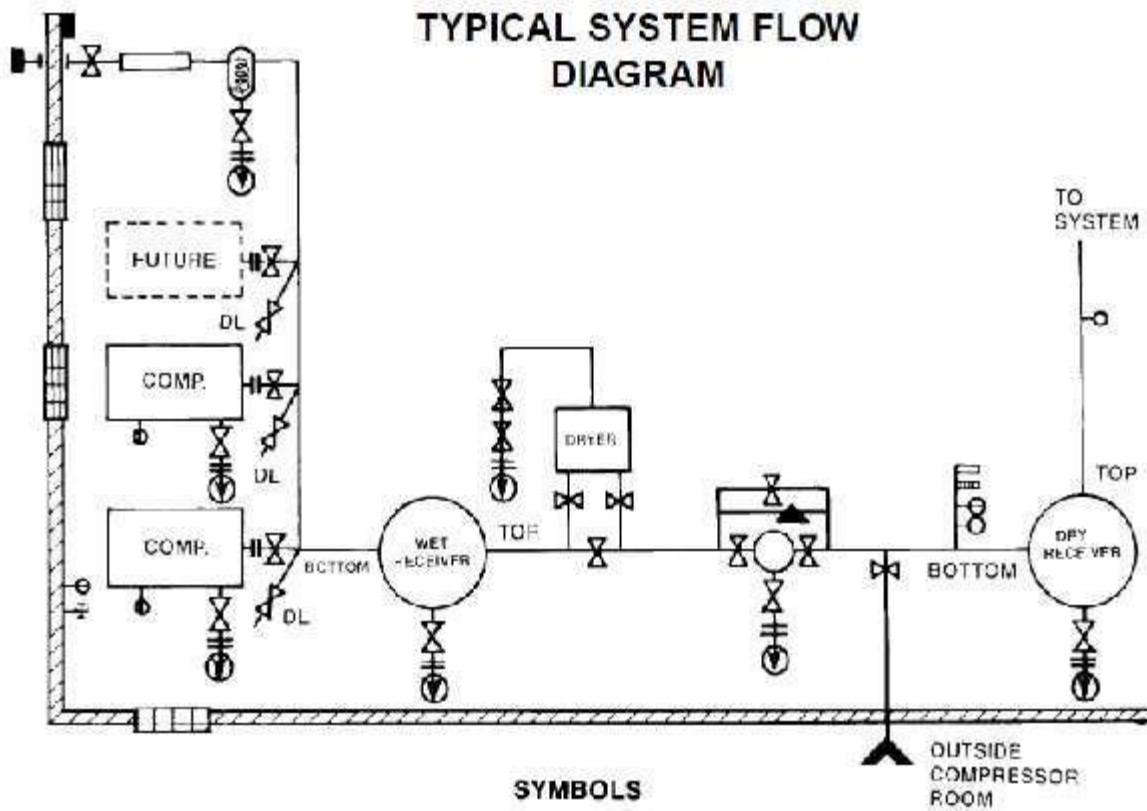
Anexo 11: Esquema de flujo del sistema de enfriamiento de compresor a tornillo



Anexo 12: Diagrama de filtro de entrada y tubería



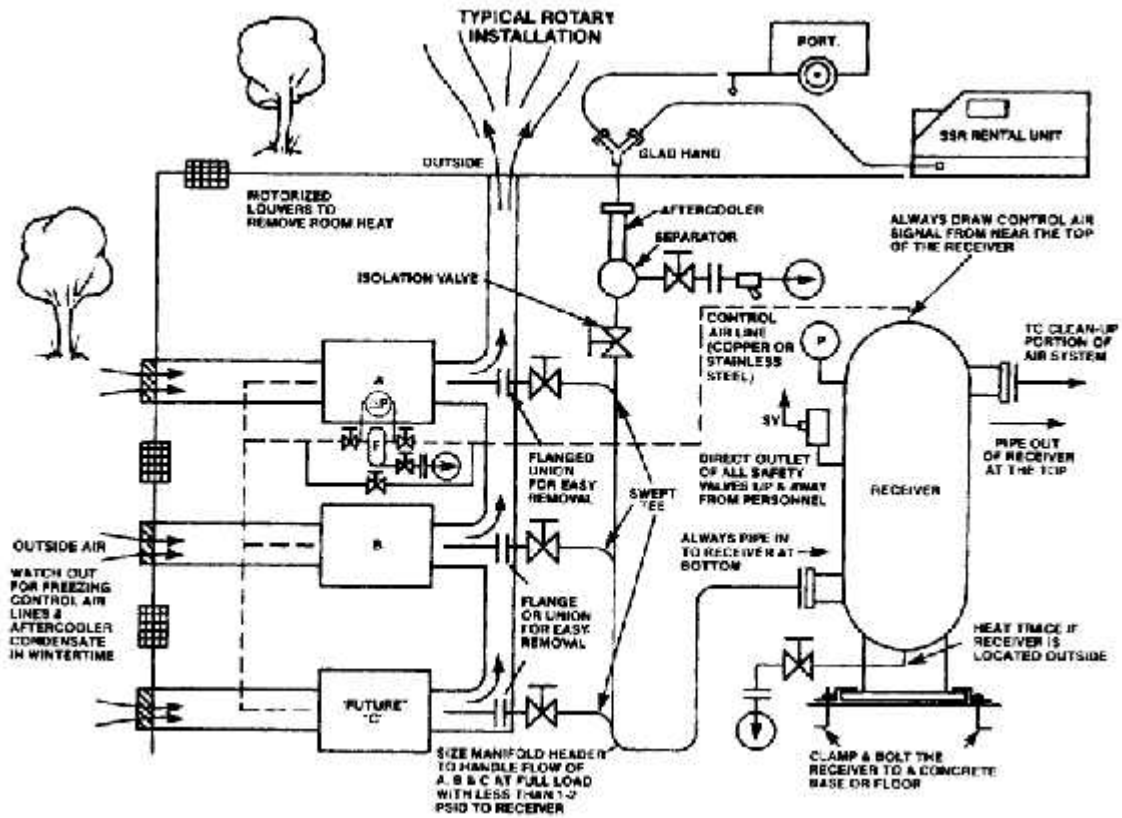
Anexo 13: Diagrama de flujo del sistema de aire comprimido



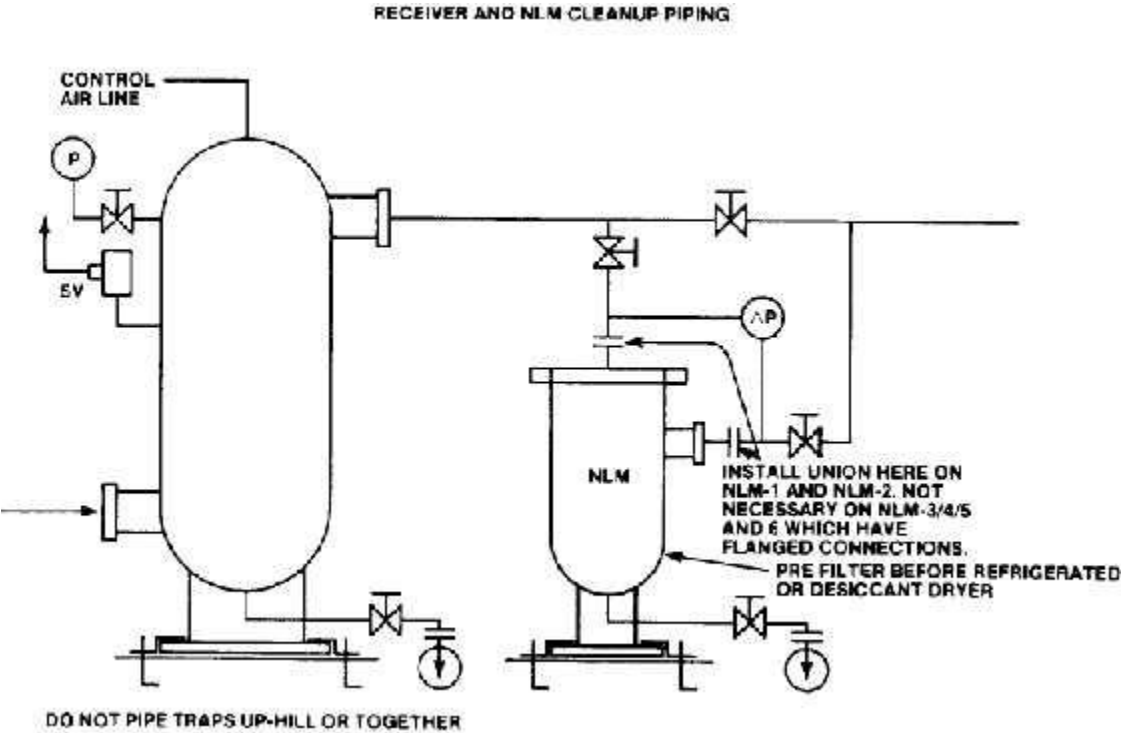
SYMBOLS

	GLADHAND Emergency Standby Air Hook Up. Complete with Necessary Fitting for Portable or IR Rental Air Unit from Local IR Distributor
	VALVE Water, Or Ball Type Valve
	UNION Aids in Disconnecting Compressor from the System
	PRESSURE GAUGE
	THERMOMETER
	DL DRIP LEG
	MANOMETER
	DIFFERENTIAL PRESSURE INDICATOR
	IR AUTOMATIC DRAIN VALVE
	FALSE LOADER Blows off Air Outside of Compressor Room
	SYSTEM INSTRUMENTATION INCLUDES Nephelometer, Hygrometer, Pressure, Temperature
	VENTILATION Motorized Louvers, Exhaust Fans
	AFTERCOOLER/SEPARATOR, ISOLATION VALVE, UNION, STRAINER AND TRAP

Anexo 14: Diagrama de flujos incluye tanque almacenamiento aire comprimido

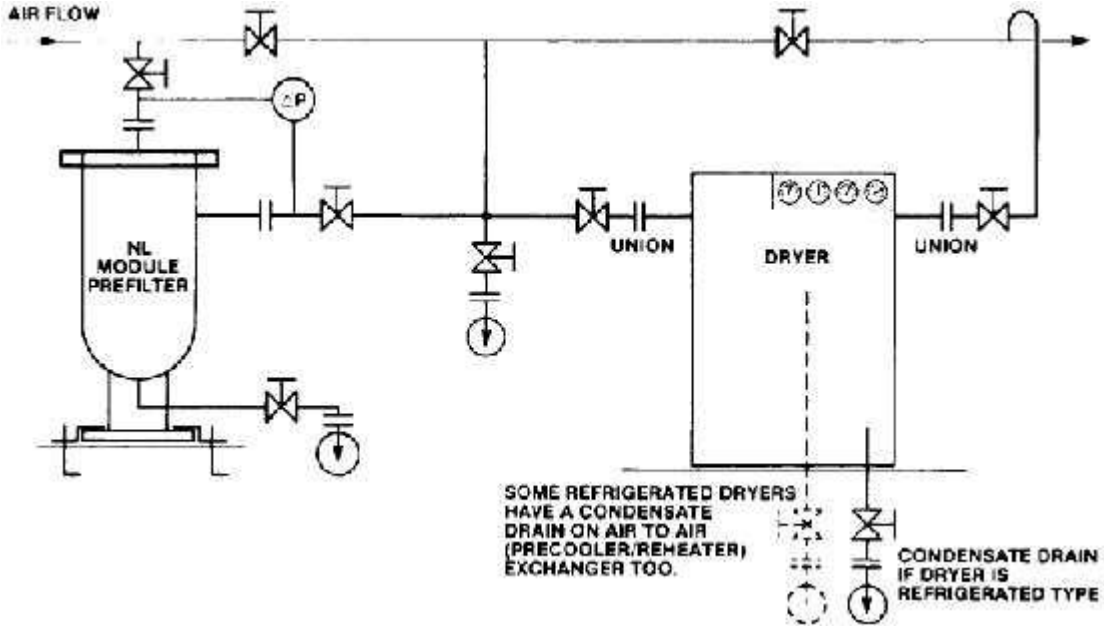


Anexo 15: Tanque de almacenamiento y tubería de purga y limpieza



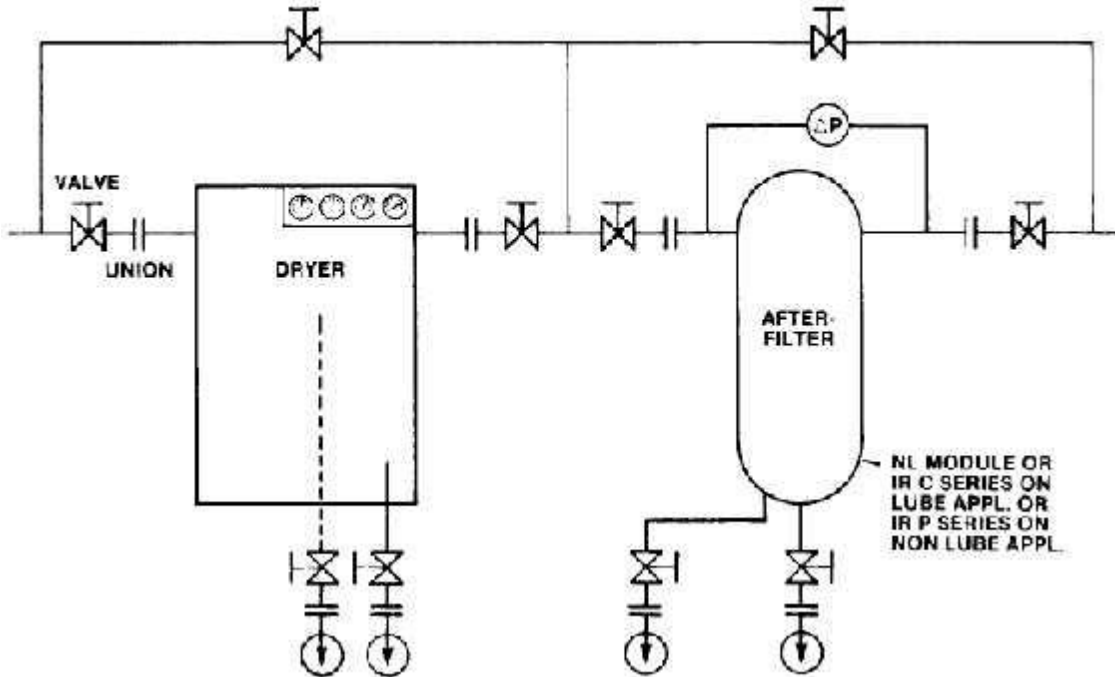
Anexo 16: Pre filtro, secador con by pass

PRE-FILTER & DRYER WITH BLOCK & BYPASS



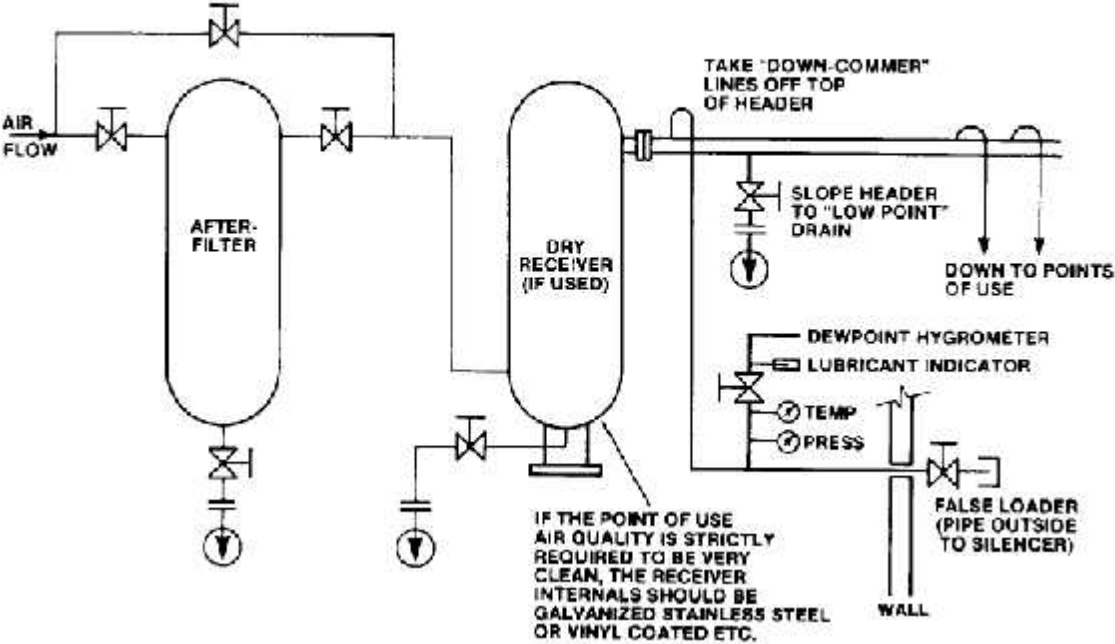
Anexo 17: Secador con post filtro de aire comprimido

DRYER WITH POLISHING (NLM OR IR C SERIES) OR PARTICULATE IR P SERIES (FOR DESICCANT DRYERS)



Anexo 18: Tanque de aire comprimido seco

DRY RECEIVER AND MONITORING DEVICES ON AIR QUALITY



Anexo 19: Recomendaciones para calidad del agua de enfriamiento

<u>PARAMETER</u>	<u>CONCENTRATION</u>	<u>FREQUENCY OF ANALYSIS</u>
Corrosivity (hardness, pH, total dissolved solids, temperature at inlet, alkalinity)	Langelier Index 0 to 1	Monthly (if stable for 3 to 4 months, analyze quarterly)
Iron	< 2 ppm	Monthly
Sulfate	< 50 ppm	Monthly
Chloride	< 50 ppm	Monthly
Nitrate	< 2 ppm	Monthly
Silica	< 100 ppm	Monthly
Dissolved oxygen	0 ppm (as low as possible)	Daily (if stable, analyze weekly)
Oil and grease	< 5 ppm	Monthly
Ammonia	< 1 ppm	Monthly

Anexo 21: Tablas Lingelier de valores para el agua de enfriamiento

Total dissolved solids (ppm)

TOTAL SOLIDS (PPM)	50	.07
	75	.09
	100	.10
	150	.11
	200	.13
	300	.14
	400	.15
	600	.18
	800	.19
	1000	.20

Temperature (°F)

		UNITS				
		0	2	4	6	8
TENS	30		2.80	2.87	2.94	2.81
	40	2.40	2.41	2.41	2.40	2.37
	50	2.34	2.31	2.28	2.25	2.22
	60	2.20	2.17	2.14	2.11	2.08
	70	2.00	2.04	2.00	2.00	1.97
	80	1.78	1.87	1.90	1.88	1.86
	90	1.61	1.80	1.80	1.78	1.76
	100	1.74	1.72	1.71	1.69	1.67
	110	1.18	1.64	1.62	1.60	1.58
	120	1.67	1.63	1.53	1.51	1.50
130	1.48	1.48	1.44	1.43	1.41	
140	1.40	1.39	1.37	1.35	1.34	
150	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	
160	1.28	1.24	1.23	1.22	1.21	
170	1.19	1.18	1.17	1.16	1.21	

Hardness (ppm)

		UNITS									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TENS	10	0.60	0.61	0.68	0.68	0.71	0.78	0.81	0.83	0.86	0.88
	20	0.90	0.92	0.94	0.98	0.98	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06
	30	1.00	1.08	1.11	1.12	1.13	1.15	1.18	1.17	1.18	1.18
	40	1.20	1.21	1.23	1.24	1.25	1.26	1.28	1.27	1.28	1.29
	50	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.34	1.35	1.36	1.37	1.37
	60	1.30	1.39	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.42	1.43	1.44
	70	1.45	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.48	1.49	1.49	1.50
	80	1.51	1.51	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.55	1.55
	90	1.58	1.58	1.57	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.60
	100	1.63	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64
110	1.64	1.65	1.65	1.65	1.66	1.66	1.67	1.67	1.67	1.68	
120	1.68	1.68	1.68	1.69	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	
130	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74	1.74	1.75	
140	1.75	1.75	1.75	1.75	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.78	
150	1.78	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.80	1.80	1.80	1.80	
160	1.81	1.81	1.81	1.81	1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.83	
170	1.83	1.84	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	
180	1.88	1.88	1.88	1.88	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90	
190	1.88	1.88	1.88	1.88	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90	
200	1.90	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.92	1.92	1.92	1.92	

Alkalinity (ppm)

		UNITS									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TENS	10	1.00	1.01	1.02	1.11	1.15	1.18	1.20	1.23	1.25	1.28
	20	1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.40	1.42	1.43	1.45	1.46
	30	1.41	1.48	1.51	1.52	1.54	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58
	40	1.50	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69
	50	1.70	1.71	1.72	1.72	1.73	1.74	1.75	1.75	1.76	1.77
	60	1.73	1.79	1.79	1.80	1.81	1.81	1.82	1.83	1.83	1.84
	70	1.85	1.85	1.85	1.86	1.87	1.87	1.88	1.88	1.89	1.90
	80	1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95
	90	1.92	1.90	1.90	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00
	100	2.01	2.01	2.01	2.01	2.02	2.02	2.03	2.03	2.04	2.04
110	2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06	2.07	2.07	2.08	
120	2.01	2.01	2.01	2.01	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	
130	2.11	2.12	2.12	2.12	2.13	2.13	2.13	2.14	2.14	2.14	
140	2.15	2.15	2.15	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17	2.17	
150	2.10	2.10	2.10	2.10	2.19	2.19	2.19	2.20	2.20	2.20	
160	2.20	2.21	2.21	2.21	2.21	2.22	2.22	2.23	2.23	2.23	
170	2.23	2.23	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.25	2.25	2.25	
180	2.22	2.25	2.25	2.25	2.26	2.26	2.27	2.27	2.27	2.28	
190	2.28	2.28	2.28	2.28	2.29	2.29	2.29	2.30	2.30	2.30	
200	2.30	2.30	2.30	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32	2.32	

		TENS									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
HUNDREDS	200	2.08	2.06	2.11	2.12	2.13	2.13	2.18	2.17	2.18	2.19
	300	2.20	2.21	2.23	2.24	2.25	2.26	2.26	2.27	2.28	2.28
	400	2.30	2.31	2.32	2.33	2.34	2.34	2.35	2.36	2.37	2.37
	500	2.38	2.39	2.38	2.40	2.41	2.42	2.42	2.43	2.43	2.44
	600	2.45	2.45	2.48	2.47	2.47	2.48	2.48	2.49	2.49	2.50
	700	2.51	2.51	2.52	2.52	2.53	2.53	2.54	2.54	2.55	2.55
	800	2.56	2.56	2.57	2.57	2.58	2.58	2.58	2.59	2.60	2.60
	900	2.56	2.56	2.57	2.57	2.58	2.58	2.59	2.60	2.60	2.60

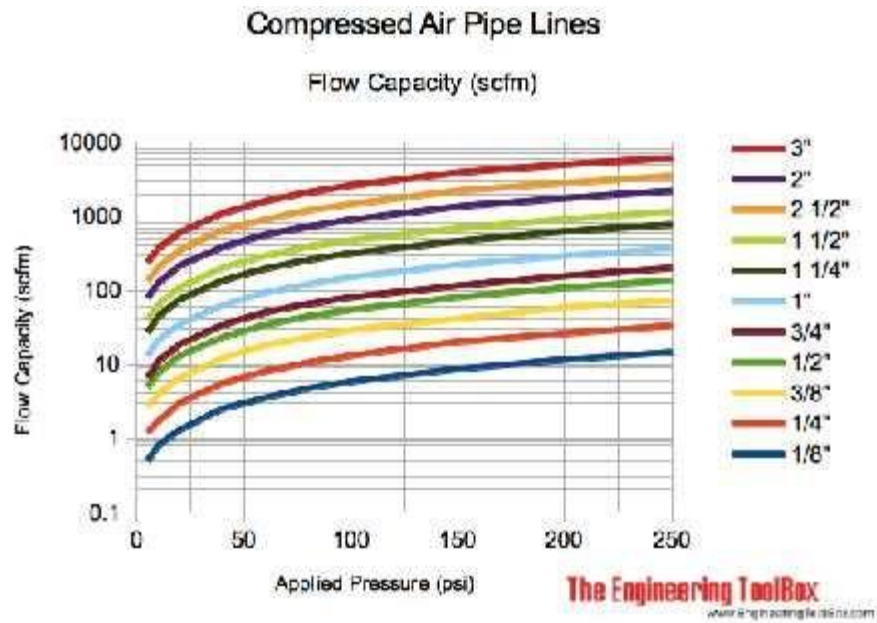
		TENS									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
HUNDREDS	200	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.42	2.43	2.43	2.43	2.46
	300	2.43	2.49	2.51	2.52	2.53	2.54	2.56	2.57	2.58	2.59
	400	2.50	2.51	2.52	2.53	2.54	2.55	2.56	2.57	2.58	2.59
	500	2.61	2.61	2.62	2.62	2.63	2.64	2.65	2.65	2.65	2.67
	600	2.73	2.79	2.79	2.80	2.81	2.81	2.82	2.83	2.83	2.84
	700	2.85	2.85	2.88	2.88	2.87	2.88	2.88	2.89	2.89	2.90
	800	2.90	2.91	2.91	2.92	2.92	2.93	2.93	2.94	2.94	2.95
	900	2.95	2.96	2.96	2.97	2.97	2.98	2.98	2.99	2.99	3.00

Anexo 22: Tablas de conductores trifásicos

CALIBRE		CAPACIDAD DE CORRIENTE (A) CONDUCTORES TRIFASICOS DE COBRE								
		Temperatura ambiente: 30°C aire libre y 25°C enterrado TW, THW Y NNY Unipolar - 3 conductores por tubo								
Escala Métrica	Escala Americana	TW Tensión 660V, Temp. Max. 60°C		THW Tensión 750V, Temp. Max. 75°C		NYY - NYSY Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 80°C			NYY - NYSY Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 90°C	
mm ²	AWG/MCM	Tubo	Aire	Tubo	Aire	Tubo	Aire	Enterrado	Aire	Enterrado
0.5		4	7							
0.52	20	5	8							
0.75		6	9							
0.82	18	7	10							
1		8	11							
1.31	16	10	15							
1.5		10	16	12	18	23	27	31	31	41
2.08	14	15	20	15	22					
2.5		18	22	20	25	35	38	45	41	54
3.31	12	20	25	20	28					
4		25	32	27	37	44	50	58	55	70
5.26	10	30	40	30	45					
6		35	45	38	52	56	66	76	69	87
8.37	8	40	55	45	65					
10		46	67	50	78	83	91	99	94	117
13.3	6	55	80	65	90					
16		62	90	75	105	110	125	125	125	151
21.15	4	70	105	85	120					
25		80	120	95	140	143	165	160	168	193
33.62	2	95	140	115	160					
35		100	150	120	175	176	200	195	206	231
42.41	1	110	165	125	195					
50		125	185	145	220	217	245	230	251	271
53.51	1/0	125	195	150	230					
67.44	2/0	145	225	175	265					
70		150	230	180	270	255	295	285	317	331

85.02	3/0	165	260	200	310					
95		180	275	215	330	305	355	335	393	395
107.2	4/0	195	300	230	360					
120		210	320	245	380	345	405	380	455	448
126.7	250	215	340	255	400					
150		240	375	285	445	395	465	430	523	500
152	300	240	375	285	445					
177.4	350	260	420	310	505					
185		275	430	320	515	440	530	485	604	562
202.7	400	280	455	335	545					
240		320	500	375	595	505	620	560	722	649
253.4	500	320	515	380	615					
300		355	575	420	690	575	700	635	834	730
304	600	355	575	420	690					
380	750	400	655	490	780					
400		430	695	490	825	665	860	715	969	827
500		490	790	580	950	750	975	800	1127	936
506,70	1000	590	790	580	950					

Anexo 23: Capacidad de tuberías de aire comprimido



Anexo 24: Caída de presión en líneas de aire comprimido

Pressure Drop NOTE: Pressure drops above 1 kg/cm ² (14-15 psi) are in general not relevant.											
Volume Flow F.A.D.		NPS Pipe Size / Inside diameter (mm)									
		1/2		3/4		1		1 1/4		1 1/2	
		15.758	20.03	25.646	35.052	40.834					
m ³ /min	(cm)	(kg/cm ²)	(psi)	(kg/cm ²)	(psi)	(kg/cm ²)	(psi)	(kg/cm ²)	(psi)	(kg/cm ²)	(psi)
0.1	4	0.02	0.22								
0.2	7	0.03	0.00	0.01	0.20						
0.3	11	0.12	1.69	0.03	0.41	0.01	0.12				
0.4	14	0.20	2.00	0.05	0.71	0.01	0.21				
0.5	18	0.30	4.35	0.07	1.07	0.02	0.32	0.01	0.08		
0.6	21	0.43	6.09	0.10	1.49	0.03	0.45	0.01	0.11		
0.7	25	0.57	8.10	0.14	1.99	0.04	0.59	0.01	0.15		
0.8	28	0.73	10.38	0.18	2.54	0.05	0.76	0.01	0.19	0.01	0.09
0.9	32	0.90	12.90	0.22	3.16	0.07	0.95	0.02	0.24	0.01	0.11
1	35	1.10	15.66	0.27	3.81	0.08	1.15	0.02	0.29	0.01	0.13
1.2	42			0.38	5.38	0.11	1.61	0.03	0.41	0.01	0.19
1.4	49			0.50	7.16	0.16	2.14	0.04	0.54	0.02	0.25
1.6	56			0.64	9.16	0.19	2.74	0.05	0.70	0.02	0.32
1.8	64			0.80	11.40	0.24	3.41	0.06	0.87	0.03	0.40
2	71			0.97	13.35	0.29	4.14	0.07	1.05	0.03	0.49
2.2	79			1.16	15.52	0.35	4.94	0.09	1.25	0.04	0.59
2.4	85			1.36	19.40	0.41	5.90	0.10	1.47	0.05	0.69
2.6	92					0.47	6.70	0.12	1.71	0.06	0.79
2.8	99					0.54	7.72	0.14	1.96	0.06	0.91
3	106					0.61	8.77	0.16	2.23	0.07	1.03
3.5	124					0.82	11.00	0.21	2.96	0.10	1.37
4	141					1.05	14.93	0.27	3.79	0.12	1.75
4.5	159					1.30	18.57	0.33	4.71	0.15	2.18
5	177							0.40	5.73	0.19	2.65
5.5	191							0.48	6.83	0.22	3.16
6	212							0.56	8.02	0.26	3.71
6.5	233							0.65	9.30	0.30	4.30
7	247							0.75	10.57	0.35	4.94
7.5	268							0.85	12.12	0.39	5.61
8	282							0.96	13.55	0.44	6.32
8.5	300							1.07	15.20	0.50	7.07
9	310							1.19	16.99	0.55	7.86
9.5	325							1.32	17.77	0.61	8.69
10	338							1.45	20.34	0.67	9.55
10	530									1.42	20.92

Engineeringtoolbox.com

Instrumentos

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la Investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: Valqui Gurrechero Oscar Dalbis

Profesión: Ingeniero

Especialidad: Ingeniero Mecánico Electricista



Comisión Ejecutiva de Especialidades
ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
R. CIR. N° 221156

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *Valderrama Calupis, Edwin Ronald*

Profesión: *Ingeniero Mecánico*

Especialidad: *CIENCIAS TÉCNICAS*


 CIP: *182677*
 Firma del Experto

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la Investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *IPARRAGUIRRE LOZANO ARGUINCOS*

Profesión: *INGENIERO MECÁNICO*

Especialidad: *DISEÑO DE MÁQUINAS.*


Arguincos
 Arguincos Iparraguirre Lozano
 ING. MECÁNICO
 N. OIP. 72016

Firma del Experto