



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Mejoramiento del sistema de aire comprimido en el área de
mantenimiento de cilindros de GLP”**

EXAMEN COMPLEXIVO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Joffre Javier Haro Párraga

GUAYAQUIL –ECUADOR

AÑO: 2014

AGRADECIMIENTO

Al personal de LA FERRETERA C.A., en especial al Ing. Marcelo Albuja, quien con su apoyo pudo ser posible culminar este trabajo.

Agradezco de manera especial al Ing. Ernesto Martínez, quien con su conocimiento y dirección pudo orientarme a bien para la realización de este examen.

DEDICATORIA

A mis padres Joffre Haro y Dory Párraga, quienes fueron el apoyo constante en mi carrera universitaria.

A mi esposa Jéssica Aspiazu y a mi hija Catalina Haro Aspiazu, quienes han sido un impulso invaluable.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Kléber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DEL EXAMEN
COMPLEXIVO

Ing. Jorge Duque R.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Joffre Javier Haro Párraga

RESUMEN

El presente proyecto de graduación comienza con una breve descripción del proceso de envasado de cilindros de GLP, para luego ubicar en qué fase del mismo los cilindros llegan a mantenimiento. En esta área se detallan las etapas por las que pasa un cilindro para que sea llenado nuevamente, o rechazado por no cumplir los requisitos mínimos; seguidamente se indican los inconvenientes que se presentan y que involucran al sistema de aire comprimido.

Se continúa con la descripción del sistema de aire comprimido instalado, detallando los equipos y elementos que integran el sistema de generación, tratamiento y distribución.

Se realizó el seguimiento a cada máquina con sus elementos que integra el área de mantenimiento, con el objetivo de obtener ciclos de trabajo que soporten el cálculo de consumo de aire comprimido. Esta información, en conjunto con normas internacionales donde aplique, permitió comparar el

sistema actual instalado con lo calculado. Así, fue posible validar el sistema de generación, tratamiento y distribución.

Se encontraron ciertas falencias que son oportunidades de mejora en el drenado de condensado tanto de las tuberías como de los equipos.

También se realizó una estimación de fugas de aire dado que el funcionamiento de los compresores es del tipo “carga/no carga”. El procedimiento fue cerrar las válvulas de los equipos consumidores de aire comprimido y hacer funcionar el compresor registrando tiempos de carga y de descarga. Con esto se pudo calcular un porcentaje de fugas del 61.4%. Esto último permitió estimar fugas de 105 cfm de aire comprimido, situación que obliga a usar dos compresores, cuando se podría utilizar solo uno si este nivel de fugas se redujera.

Se destaca la falta de índice de daños de elementos neumáticos, costos por reparación de estos elementos y control de consumo eléctrico de los equipos de generación, situación que dificulta la comparación luego de las mejoras que se implementen.

Al final se presentan los costos de implementación de las mejoras, los cuales al término del proyecto no eran aún aprobados por la gerencia del área.

ÍNDICE GENERAL

| | Pag. |
|---|------|
| RESUMEN | I |
| ÍNDICE GENERAL | III |
| ABREVIATURAS | V |
| SIMBOLOGÍA | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VIII |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | X |
| ÍNDICE DE TABLAS. | XI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO | 3 |
| 1.1 Descripción del proceso de mantenimiento de cilindros | 3 |
| 1.2 Problemas en el sistema de aire comprimido | 11 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA | 14 |
| 2.1 Sistema de Generación | 17 |
| 2.2 Sistema de Tratamiento | 21 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 2.3 Sistema de Distribución | 26 |
|-----------------------------------|----|

CAPÍTULO 3

| | |
|--|----|
| 3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO..... | 32 |
| 3.1 Cálculo del consumo teórico de aire | 33 |
| 3.2 Validación de la capacidad instalada del sistema de generación | 43 |
| 3.3 Validación del sistema de tratamiento de aire..... | 45 |
| 3.4 Validación de la red de distribución de aire..... | 49 |
| 3.5 Estimación de fugas de aire comprimido en el sistema..... | 53 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--|----|
| 4. PROPUESTA DE MEJORAS | 59 |
| 4.1 Mejoras en el cuarto de compresores | 59 |
| 4.2 Mejoras en el tratamiento del aire | 60 |
| 4.3 Mejoras en la red de distribución | 61 |
| 4.4 Resumen de costos de aplicación de mejoras | 62 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---|----|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 73 |
|---|----|

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

| | |
|----------------------|---|
| Bar | Bares |
| cfm | Pies cúbicos por minuto |
| D | Diámetro de tubería |
| d_c | Diámetro del émbolo de un cilindro neumático |
| d_v | Diámetro del vástago de un cilindro neumático |
| dm^3 | Decímetro Cúbico |
| f | Factor de fricción |
| ft^3 | Pie cúbico |
| g | Aceleración de la gravedad |
| gal | Galón |
| GLP | Gas Licuado de Petróleo |
| h_L | Pérdida de carga debida al flujo del fluido, en metros de columna de fluido |
| hp | Caballo de potencia |
| hr | Hora |
| INEN | Instituto Ecuatoriano de Normalización |
| ISO | International Organization for Standardization |
| Kg | Kilogramo |
| kPa | Kilo Pascal |
| kW | Kilo watts |
| L | Longitud |
| lb_{agua} | Libras de agua condensada |
| m^3 | Metro cúbico |
| mg | Miligramo |
| min | Minuto |
| mm | Milímetro |
| mt | Metro |
| MPa | Mega Pascal |
| n | Ciclos por minuto |
| NTE | Norma Técnica Ecuatoriana |
| P | Presión |
| p_{trabajo} | Presión de trabajo |

| | |
|-------|---|
| ppm | Parte por millón |
| Pulg | Pulgada |
| Psi | Libras por pulgada cuadrada |
| Psig | Libras por Pulgada Cuadrada manométrica |
| Q | Caudal del fluido |
| rc | Relación de compresión |
| s | Carrera del émbolo de un cilindro neumático |
| S_g | Peso específico |
| t_1 | Tiempo de carga del compresor de aire |
| t_2 | Tiempo de descarga del compresor de aire |
| v | Velocidad del fluido |
| W | Flujo másico |

SIMBOLOGÍA

| | |
|--------------------|-----------------------------|
| “ | Pulgadas |
| Δ | Diferencia entre dos puntos |
| ρ | Densidad |
| π | Número pi: 3.1415 |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grados Centígrados |
| % | Porcentaje |
| $^{\circ}$ | Grados sexagesimales |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1.1 | Diagrama de flujo de envasado de glp en cilindros..... | 4 |
| Figura 1.2 | Diagrama de flujo de mantenimiento de cilindros..... | 9 |
| Figura 1.3 | Implicación del aire comprimido en los inconvenientes del proceso..... | 13 |
| Figura 2.1 | Sistema de aire comprimido..... | 14 |
| Figura 2.2 | Compresor de aire tipo tornillo..... | 15 |
| Figura 2.3 | Compresor de aire tipo pistón..... | 16 |
| Figura 2.4 | Secador y filtro de aire..... | 16 |
| Figura 2.5 | Ejemplo red de tuberías..... | 17 |
| Figura 2.6 | Distribuidor de aire..... | 20 |
| Figura 2.7 | Modelo de drenado de condensado..... | 21 |
| Figura 2.8 | Post enfriador..... | 23 |
| Figura 2.9 | Filtros de línea..... | 23 |
| Figura 2.10 | Drenador en filtro separador de agua..... | 24 |
| Figura 2.11 | Filtro de aceite de máxima eficiencia..... | 26 |
| Figura 2.12 | Purgadores en línea de aire..... | 28 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 2.13 | Distribuidor de aire en roscadoras..... | 29 |
| Figura 2.14 | Cilindros elevadores de botellas..... | 30 |
| Figura 3.1 | Distribución de consumo de aire comprimido..... | 41 |
| Figura 3.2 | Tipo de tratamiento de acuerdo a la industria..... | 46 |
| Figura 3.3 | Comportamiento de tiempos de carga y descarga..... | 57 |
| Figura 3.4 | Distribución de uso de aire comprimido..... | 58 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|---------|---|
| Plano 1 | Diagrama de Generación y Tratamiento de aire |
| Plano 2 | Distribuidor de aire: Instalación recomendada |
| Plano 3 | Red de aire en planta de Mantenimiento de cilindros |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1 | Espesor mínimo de pared de cilindros de acero para glp..... | 6 |
| Tabla 2 | Capacidad de agua de acuerdo al tamaño del cilindro..... | 7 |
| Tabla 3 | Características dimensionales de los cilindros de gas..... | 7 |
| Tabla 4 | Equipos existentes en la sala de compresores..... | 18 |
| Tabla 5 | Capacidad de aire instalada..... | 18 |
| Tabla 6 | Equipos del sistema de tratamiento..... | 22 |
| Tabla 7 | Equipos consumidores de aire..... | 34 |
| Tabla 8 | Prueba hidrostática..... | 35 |
| Tabla 9 | Evacuadora de agua..... | 36 |
| Tabla 10 | Colocadora de válvulas..... | 36 |
| Tabla 11 | Llenado de aire..... | 37 |
| Tabla 12 | Prueba de estanqueidad..... | 37 |
| Tabla 13 | Evacuación de aire..... | 38 |
| Tabla 14 | Máquina de soldar..... | 38 |
| Tabla 15 | Granalladora..... | 39 |
| Tabla 16 | Máquina de aplicación de pintura..... | 39 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 17 | Impresora de tara y logo..... | 40 |
| Tabla 18 | Consumo de aire por equipos..... | 41 |
| Tabla 19 | Consumo requerido por la planta..... | 42 |
| Tabla 20 | Consumo usando un solo compresor..... | 43 |
| Tabla 21 | Calidad de aire requerida..... | 47 |
| Tabla 22 | Características del sistema de tratamiento instalado..... | 47 |
| Tabla 23 | Equipo de Pintura: Longitud total incluyendo accesorios y válvulas..... | 51 |
| Tabla 24 | Demás equipos: Longitud total incluyendo accesorios y válvulas..... | 51 |
| Tabla 25 | Caída de presión a diferentes diámetros..... | 52 |
| Tabla 26 | Registro de tiempos de carga y descarga..... | 56 |
| Tabla 27 | Costo por modificación del distribuidor principal..... | 63 |
| Tabla 28 | Costo por instalación de válvulas de retención..... | 64 |
| Tabla 29 | Costo por aumento de post enfriador..... | 64 |
| Tabla 30 | Costo por cambio de drenador de filtro separador de agua..... | 65 |
| Tabla 31 | Comparación de costos de kits de filtros..... | 65 |
| Tabla 32 | Análisis de retorno de inversión en filtros..... | 66 |
| Tabla 33 | Análisis de costos por compra de secador de aire..... | 67 |
| Tabla 34 | Costo inclinación de tubería a equipo de pintura..... | 68 |
| Tabla 35 | Costo de instalación de drenadores en el circuito cerrado..... | 68 |
| Tabla 36 | Costo de eliminar puntos sin uso..... | 69 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 37 | Costo por modificación de distribuidor de roscadoras..... | 69 |
| Tabla 38 | Costo por corrección de fugas de aire comprimido..... | 70 |
| Tabla 39 | Resumen de costos..... | 70 |

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente examen complejo abarca principalmente lo siguiente:

El capítulo 1 empieza con un resumen del proceso de envasado de GLP para seguidamente ubicar en el mismo, y luego describir, el proceso de mantenimiento de cilindros. A continuación se muestran los inconvenientes que presenta el sistema.

En el capítulo 2 se describe de forma general la generación, el tratamiento y la distribución que incluye un sistema de aire comprimido. A continuación se muestra un detalle de los equipos que conforman estos tres componentes en la planta objeto de estudio. En esta parte se indica cómo está el estado de la instalación actual.

Continuando con el capítulo 3, de acuerdo a información tomada en sitio, aquí se realizan los cálculos correspondientes para determinar el consumo teórico de aire comprimido para con esta información, proceder a validar el sistema de generación, de tratamiento y distribución a fin de determinar si tienen el tamaño adecuado para el proceso. Se incluye en esta parte una estimación de fugas de aire comprimido aprovechando el ciclo de funcionamiento “carga/no carga” de los compresores de tornillo.

En el capítulo 4 se muestran las oportunidades de mejora en todo el sistema de aire comprimido teniendo en cuenta lo que se desarrolló en los capítulos anteriores. Con estos antecedentes acompañando estos puntos de mejora se indican los costos que conllevan su aplicación y un análisis de retorno de inversión. El siguiente cuadro muestra este análisis considerando solo las fugas de aire comprimido.

$$\frac{\text{Costo por corregir fugas}}{\text{Pérdidas de aire comprimido por año}} \rightarrow \frac{\$478}{\$2718.72/\text{año}} = 0.18 \text{ años}$$

Esto significa que la inversión tendrá un tiempo de retorno de poco más de 2 meses aproximadamente.

Para culminar, en el capítulo 5 se dan las conclusiones y recomendaciones respectivas para mejorar el sistema actual.

CAPÍTULO 1

1. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

El gas licuado de petróleo, GLP, es un bien de uso básico en nuestro país. Debido al subsidio que brinda el gobierno, el mismo llega por medio de cilindros de 15 kg a casi toda la población ecuatoriana mejorando la calidad de vida doméstica a un precio muy bajo comparado al de otros países. Debido a esta gran cantidad de usuarios, el cuidado de los cilindros es muy variable provocando en el mayor de los casos su deterioro, haciendo necesaria la implementación de un programa de mantenimiento que logre recuperarlos y garantizar su buen desempeño.

1.1 Descripción del proceso de mantenimiento de cilindros

La mayoría de las empresas envasadoras de GLP cuentan, como un área anexa a su proceso, con una sección de mantenimiento de cilindros, lo cual favorece el control del resultado final además de

tener la seguridad de garantizar al cliente que el cilindro se entrega en buenas condiciones para su uso.

Proceso de Envasado

En el diagrama a continuación se muestra el flujo que se sigue para realizar el envasado de GLP.

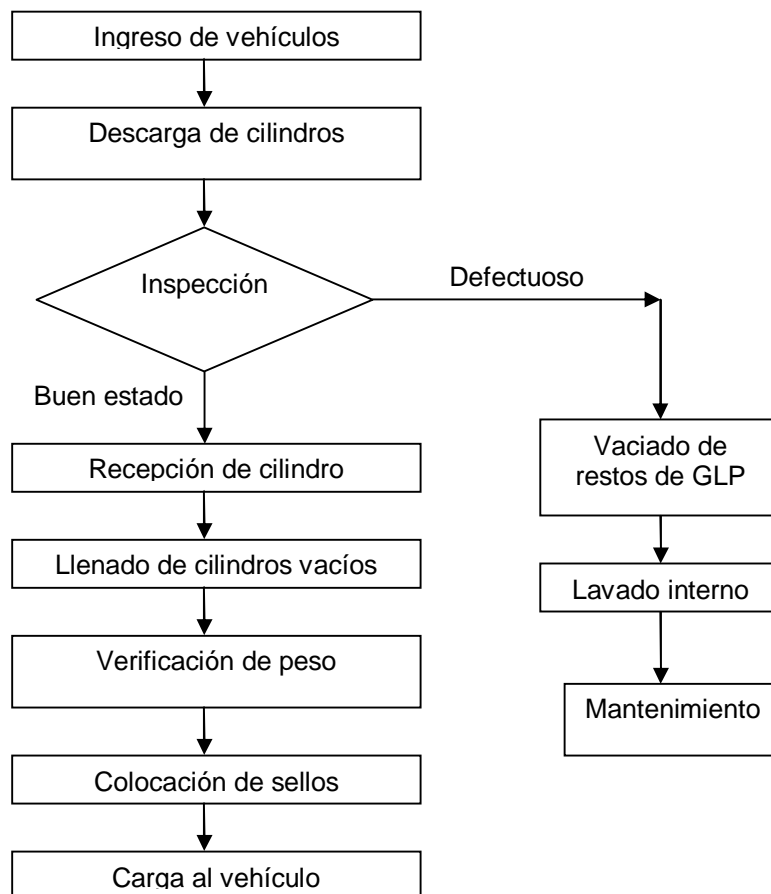


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE ENVASADO DE GLP EN CILINDROS

Fuente: Autor del examen complejo

Luego que los cilindros llegan a la planta y son descargados, se realiza la inspección de los mismos. Si están en buen estado, se los direcciona a la sección de envasado para que puedan ser llenados nuevamente. En caso que estén deteriorados, se realiza el vaciado de los remanentes de GLP para luego ser lavados con el objetivo de inertizarlos.

Una vez limpios y sin GLP, los cilindros pasan a la sección de mantenimiento para llevar a cabo la respectiva reparación.

Para que un cilindro pueda ser considerado en buen estado, debe pasar las pruebas que se mencionan en la norma NTE INEN 327:2011 (1), además de cumplir los requisitos indicados en la norma NTE INEN 111:1998 (2).

A continuación se muestran a manera de resumen los requerimientos solicitados por la norma ecuatoriana y que deben verificar los talleres de mantenimiento de cilindros de GLP:

- “Las asas y las bases deben estar en condiciones que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñadas” (literal b, numeral 4.1.2.1, NTE INEN 327)

- “Mantener pintura no menor al 70%” (literal c, numeral 4.1.2.1, NTE INEN 327)
- “No debe tener golpes cortantes (punzantes) que produzcan una reducción al espesor mayor a 1/10 del espesor mínimo de la chapa del cilindro” (subliteral e.1, literal e, numeral 4.1.2.1, NTE INEN 327). El espesor mínimo se muestra en la Tabla 1.
- No debe tener abolladuras que reduzcan su capacidad de agua en valores superiores a los especificados en la Tabla 2, el mismo que será calculado del volumen mínimo especificado en la Tabla 3.

TABLA 1
ESPESOR MÍNIMO DE PARED DE CILINDROS DE ACERO
PARA GLP

| Capacidad cilindro Kg | GRADO DE ACERO | | |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| | ESPESOR DE PARED (mm) | | |
| | A-230 | B-240 | C-265 |
| 5 | 2,20 | 2,15 | 2,05 |
| 10 y 15 | 2,45 | 2,36 | 2,30 |
| 45 | 2,70 | 2,60 | 2,50 |

Fuente: NTE INEN 111, Pag 4

TABLA 2
CAPACIDAD DE AGUA DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL CILINDRO

| CAPACIDAD DEL CILINDRO (kg) | CAPACIDAD EN AGUA (dm ³) |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 5 | 0,1 |
| 10 | 0,2 |
| 15 | 0,3 |
| 45 | 0,3 |

Fuente: NTE INEN 327, pag. 3

- No debe tener grietas visibles
- No debe tener cordones o puntos de soldadura en lugares diferentes a los especificados en la NTE INEN 2143.

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LOS CILINDROS DE GAS

| Capacidad Nominal de Propano (kg) | Diámetro exterior del cilindro (mm) | Capacidad de agua (dm ³)* | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| | | Mínima | Máxima |
| 5 | 260 ⁺⁵ -2 | 11,8 | 12,4 |
| 10 | 320 ⁺⁵ -2 | 23,8 | 24,5 |
| 15 | 320 ⁺⁵ -2 | 35,7 | 36,5 |
| 45 | 380 ⁺⁵ -2 | 107,1 | 109,5 |

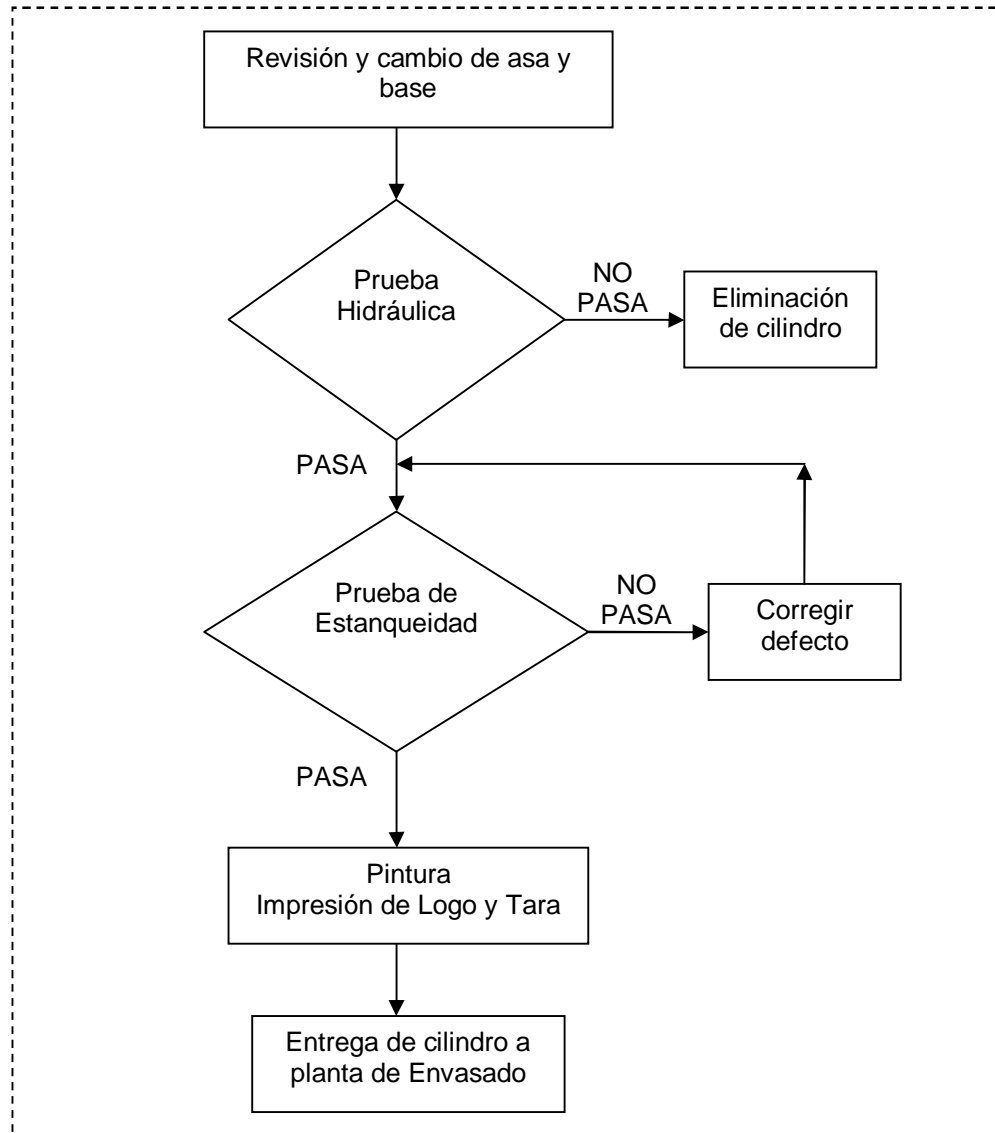
* La capacidad de agua es calculada en base a la densidad del propano: 0,509 kg/dm³ a 15°C.

Fuente: NTE INEN 111, pag. 3

- “Prueba hidráulica: Todo cilindro que haya sido reparado debe ser sometido al ensayo de presión hidráulica a 3.5 MPa (500 psi) durante 30 segundos”. (Numeral 4.2, NTE INEN 327)
- “Prueba de estanqueidad: Todo cilindro que haya sido reparado debe ser sometido a la prueba de estanqueidad a 690 kPa (100 psi) durante 30 segundos y no debe presentar fugas” (Numeral 4.3, NTE INEN 327)

De acuerdo a esta información, en la Figura 1.1 se presenta el flujograma de mantenimiento de cilindros de la empresa en estudio:

ÁREA DE MANTENIMIENTO DE CILINDROS



**FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE MANTENIMIENTO DE
CILINDROS**

Fuente: Autor del examen complejo

Recepción de cilindros

Antes de que se entreguen los cilindros a la planta de mantenimiento, se realiza la recuperación de GLP sobrante, el retiro de las válvulas y el lavado interno y externo.

Revisión y cambio de asa y base

Al llegar a este punto se inspecciona visualmente la soldadura en el cuerpo del cilindro y el estado de las asas y las bases. Se procede al cambio en caso de requerirse.

Prueba Hidráulica

Una vez reparados, “los cilindros son sometidos al ensayo de presión hidráulica a 3.5 MPa durante 30 segundos. Los que aprueben este ensayo, garantizan su aptitud para el uso (circulación), caso contrario, serán eliminados (cilindro fuera de uso)” (1). La planta posee una máquina con todos sus elementos actuados neumáticamente para llevar a cabo esta prueba.

Luego de realizada la prueba, se evacua el agua, se seca el cilindro y se coloca la válvula por medio de una máquina. En momentos en que la producción es alta, se usan técnicos con herramienta neumática para colocar más válvulas.

Prueba de estanqueidad

El cilindro es sometido a una presión de 690 kPa (100 psi) durante 30 segundos y no debe presentar fugas. “Los cilindros que no aprueben este ensayo, no saldrán a circulación, hasta que se corrija el defecto (fuga)” (1). De igual forma, para esta prueba se tiene una máquina actuada neumáticamente.

Pintura

Pasadas todas las pruebas, el cilindro es limpiado completamente por medio de un proceso de granallado para luego ser pintado. Posteriormente se colocará la tara, fecha de inspección y el logo de la empresa (1).

Entrega de cilindro

Habiendo pasado el cilindro satisfactoriamente todas las etapas de mantenimiento, se entrega el mismo al área de envasado, donde se lo llenará con GLP y se lo enviará a su distribución.

1.2 Problemas en el sistema de aire comprimido

Con el objeto de procesar la mayor cantidad de cilindros posible, el flujo descrito anteriormente se realiza de forma semi automática, usando en su gran parte el aire comprimido como sistema motriz

de los elementos que darán movimiento a los cilindros de GLP a lo largo de la cadena de mantenimiento con poca intervención humana.

Sin embargo, personal de planta reportó ciertas anomalías en esta cadena de proceso que generan retrasos y bajos índices de cilindros de GLP reparados, las cuales se listan a continuación:

- Paradas inesperadas por daño en elementos neumáticos.
- Retraso en la colocación de válvulas debido a daños en herramientas neumáticas como las roscadoras de válvulas.
- Incremento de costos de reparación por cambio de partes o cambio total de cilindros neumáticos.
- Presencia de fugas por los diferentes ruidos típicos que se escuchan en algunas partes de la instalación.

Como se puede constatar, el sistema de aire comprimido está implicado en los problemas detectados y que ocasionan baja eficiencia de cilindros trabajados.

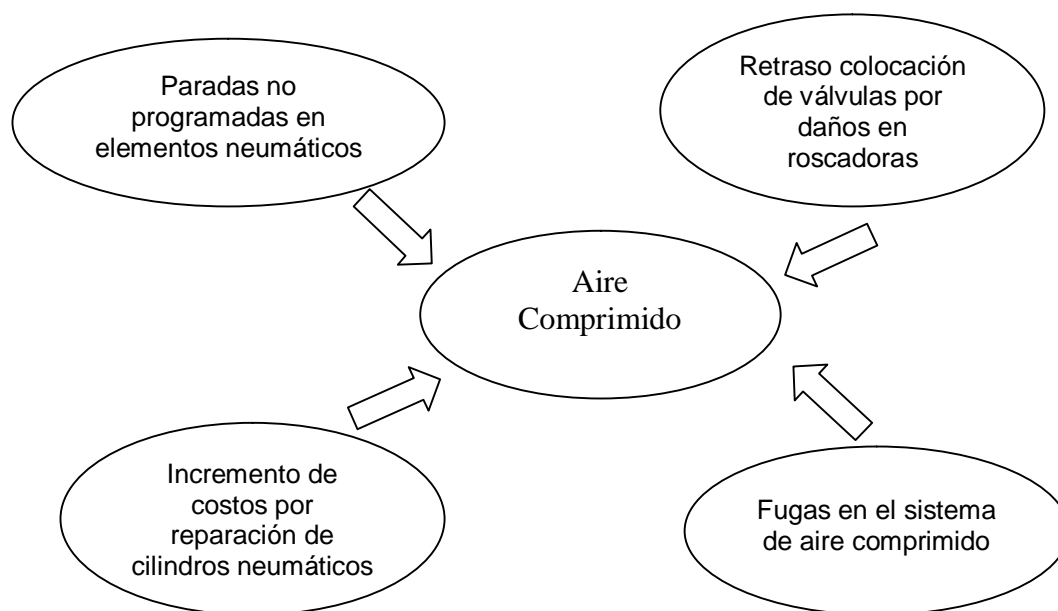


FIGURA 1.3 IMPLICACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO EN LOS INCONVENIENTES DEL PROCESO

Fuente: Autor del examen complejo

El presente examen complejo se enfocará en encontrar los problemas en las 3 áreas que componen el sistema de aire comprimido de la planta: generación, tratamiento y distribución, con el objetivo de determinar oportunidades de mejora que ayuden a recuperar los índices. Para esto, se trabajará en cálculos que tendrán muy en cuenta la información tomada en planta, en la cual se realiza un seguimiento a cada uno de los puntos consumidores de aire para medir los ciclos de trabajo y así obtener un consumo lo más real posible.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA

Normalmente, todo sistema de aire comprimido se compone de tres partes principales, los cuales se describen a continuación de forma superficial:

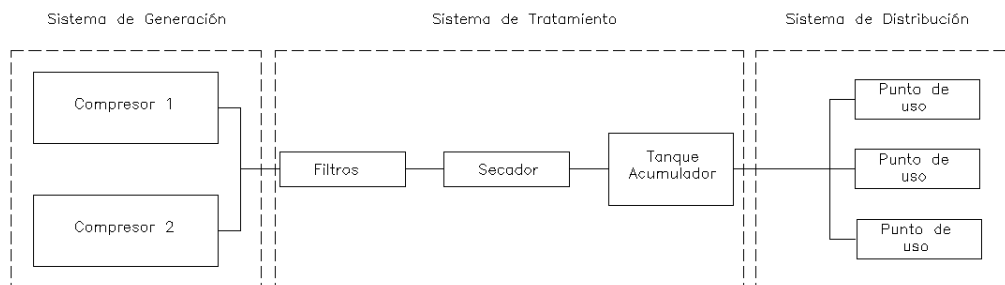


FIGURA 2.1 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Fuente: Compressed Air Challenge – Improving Compressed Air System Performance

- Sistema de Generación: Comprende los equipos que se utilizarán para la producción del aire. Comúnmente llamados compresores

de aire, existen en el mercado muchos tipos de estos equipos, siendo los más comunes los de tipo tornillo y tipo pistón.

- Los compresores tipo tornillo son máquinas rotativas de desplazamiento positivo que usan dos rotores helicoidales girando de forma paralela entre sí para llevar a cabo la compresión (6). Este tipo de equipo ha tenido gran acogida llegando a ser el más usado en la industria en tamaños que van desde los 20 hasta 200 hp debido a su bajo costo inicial, tamaño compacto, bajo peso y facilidad de mantenimiento (9).

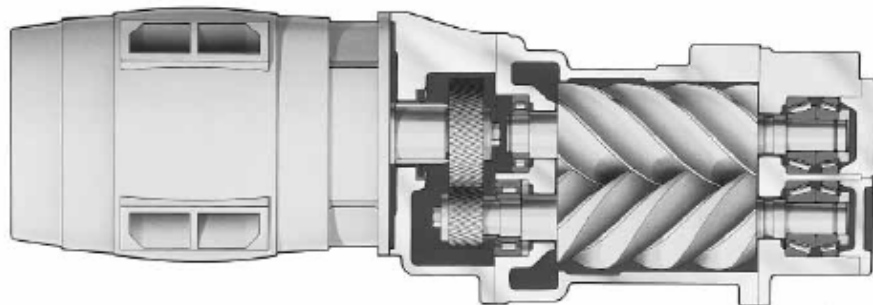


FIGURA 2.2 COMPRESOR DE AIRE TIPO TORNILLO

Fuente: CAGI – Compressed air production

- Los compresores tipo pistón (también llamados reciprocantes) se caracterizan por su pistón tipo “automotriz” que es impulsado a través de una biela conectada a un cigüeñal. La compresión se lleva a cabo en la parte superior del pistón con cada revolución del cigüeñal (9).



FIGURA 2.3 COMPRESOR DE AIRE TIPO PISTÓN

Fuente: Catálogo Champion – Compresor Centurion II

- Sistema de Tratamiento: Comprende los equipos necesarios para procesar el aire antes de entregarlo a los consumidores con la menor cantidad de impurezas, olores, aceite y humedad posible. Estos incluyen post enfriadores, secadores y filtros.



FIGURA 2.4 SECADOR Y FILTRO DE AIRE

Fuente: Catálogo Champion – Secador CRN

- Sistema de Distribución: Este sistema incluye la tubería, accesorios, drenadores y los puntos de consumo a lo largo de la red. Debe ser correctamente diseñado para eliminar el remanente de humedad que no alcanza a retirar el sistema de tratamiento y evitar caídas de presión que causen inconvenientes en la producción.

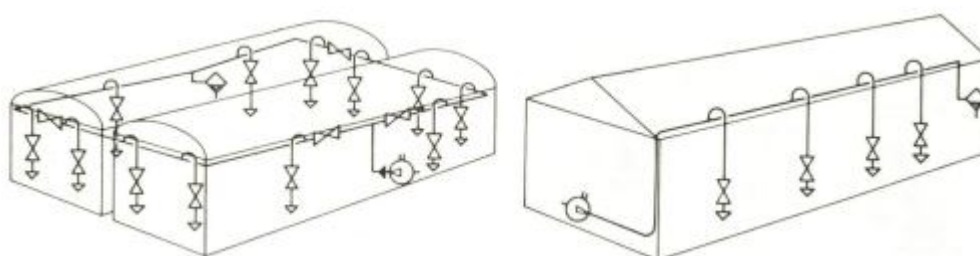


FIGURA 2.5 EJEMPLO RED DE TUBERÍAS

Fuente: Aire Comprimido – Enrique Carnicer

La empresa objeto de estudio posee estos 3 sistemas en la planta de mantenimiento de cilindros de GLP, los dos primeros se muestran en un esquema en el Plano 1 y el tercero en el Plano 3. A continuación se mostrará el estado actual de estos subsistemas especificando los equipos que tienen.

1.3 Sistema de Generación

Tres son los compresores que se encargan de la producción de aire comprimido para toda la planta de mantenimiento. De estos,

solo dos funcionan de forma continua, mientras que una tercera unidad (modelo 6040N) se la tiene como respaldo en caso de falla o mantenimiento de las otras. En la Tabla 4 se detallan los mismos:

TABLA 4
EQUIPOS EXISTENTES EN LA SALA DE COMPRESORES

| MARCA | POTENCIA | MODELO | PRESIÓN | CAPACIDAD |
|---------|----------|------------|---------|-----------|
| CompAir | 40 hp | Cyclon 330 | 7.5 bar | 171 cfm |
| CompAir | 20 hp | Cyclon 215 | 7.5 bar | 90 cfm |
| CompAir | 40 hp | 6040N | 7.5 bar | 176 cfm |

Fuente: Autor del examen complejo

De acuerdo a esto, y guiándose por la tabla de compresores del fabricante mostrado en el Apéndice A, la capacidad de aire disponible corresponde a lo que pueden entregar las dos primeras unidades que trabajan de forma continua:

TABLA 5
CAPACIDAD DE AIRE INSTALADA

| Compresor | Modelo | Flujo de aire |
|--------------|------------|----------------|
| 1 | Cyclon 330 | 171 cfm |
| 2 | Cyclon 215 | 90 cfm |
| Total | | 261 cfm |

Fuente: Autor del examen complejo

La jornada de trabajo de los compresores se acopla al horario normal de trabajo, esto es 8 horas diarias, de lunes a sábado.

El modo de funcionamiento de los tres compresores es “Carga/No carga” (Load/Unload). También llamado control de velocidad constante, este modo permite al motor funcionar de manera continua, pero se desconecta del compresor cuando alcanza la presión de descarga. En el seguimiento a esta forma de funcionamiento, se constató que la presión de carga es 6.3 bar (91 psig), mientras que la presión de descarga es 6.7 (97 psig).

Cabe resaltar que los tres equipos tienen un plan de mantenimiento que se replica en todas las sucursales de la empresa que usan compresores, lo cual da una buena confiabilidad al sistema en lo que respecta a paradas no programadas por algún daño.

Adicionalmente, aunque no es considerado como parte del sistema de generación, el cuarto de compresores tiene un distribuidor de aire de 10” de diámetro y 2.25 metros de longitud, cuya función es coleccionar el aire comprimido de los tres equipos para luego ser entregado por medio de una línea al sistema de tratamiento. En el

Plano 1 se muestra un esquema de cómo es la configuración actual entre el compresor y el distribuidor. En el Plano 2 se muestra cómo deben ser las conexiones y los accesorios requeridos para este último.



FIGURA 2.6 DISTRIBUIDOR DE AIRE

Fuente: Autor del examen complejo

Con respecto a este equipo hay algunos aspectos que merecen atención:

- Las entradas y salidas se realizan de forma lateral, estas deben realizarse siempre por la parte superior
- El distribuidor no tiene un tubo colector de humedad. Lo correcto sería colocar una pierna colectora, el drenador con la válvula de corte y una de purga. En la Figura 2.6 se muestra un

modelo de cómo realizar el drenado de humedad. El mismo debe ser replicado en los diferentes equipos y tuberías que necesiten eliminar humedad.

- El distribuidor cuenta con un manómetro de 0-200 psig, adecuado para la presión que se maneja.

En el Plano 2 se indica la recomendación para drenar el condensado.

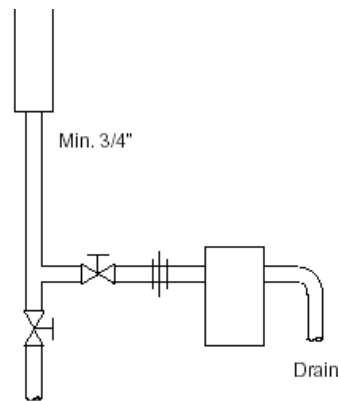


FIGURA 2.7 MODELO DE DRENADO DE CONDENSADO

Fuente: Armstrong - Draining liquids from compressed air and other gases (11)

1.4 Sistema de Tratamiento

De acuerdo a la configuración mostrada en el Plano 1, el sistema de tratamiento consta de los siguientes equipos:

TABLA 6
EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

| EQUIPO | MARCA | POTENCIA | MODELO | PRESIÓN | CAPACIDAD |
|---------------------------------|-----------|----------|------------|---------|-----------|
| POST ENFRIADOR | Hankinson | 0.25 hp | ACH-120 | 17 bar | 120 cfm |
| FILTRO SEPARADOR DE AGUA | Champion | - | CFF 485A | 21 bar | 485 cfm |
| SECADOR | Champion | 1.5 hp | CRN 400 | 6.9 bar | 400 cfm |
| FILTRO ACEITE MAXIMA EFICIENCIA | Champion | - | CFF 485FDG | 21 bar | 485 cfm |

Fuente: Autor del examen complejo

Como se puede constatar en el Plano 1, cada equipo tiene un “bypass” que permitirá darle mantenimiento cuando sea requerido sin necesidad de parar los equipos.

El primer equipo en este sistema es un post enfriador, cuya función es la de tomar la temperatura del aire a la salida del compresor y bajarla lo máximo posible antes de entrar al secador, de esta manera se logra mayor eficiencia en el retiro de humedad.

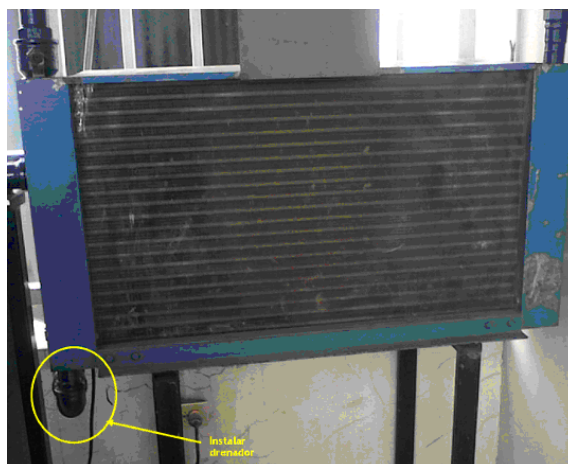


FIGURA 2.8 POST ENFRIADOR

Fuente: Autor del examen complejo

En la Figura 2.7 se muestra el post enfriador, el cual es de tipo aire - aire. No existe drenador de condensado. La temperatura a la entrada del enfriador se registró en 83°C, mientras que a la salida se registró en 67°C. Las aletas que cubren el tubo serpentín de este equipo se encontraron en buen estado.

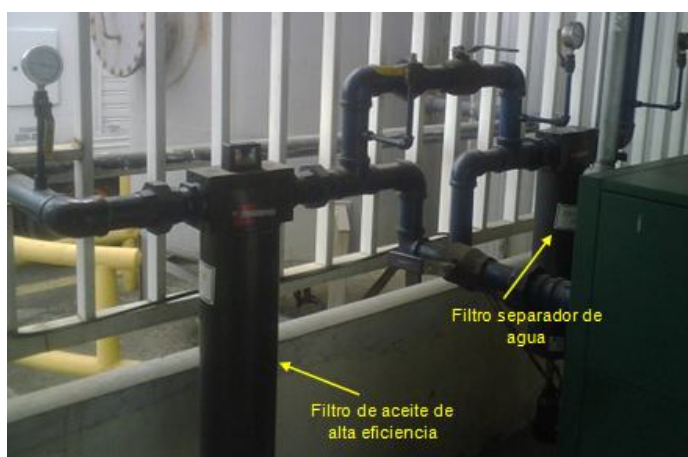


FIGURA 2.9 FILTROS DE LÍNEA

Fuente: Autor del examen complejo

A continuación el aire llega a un filtro separador de agua, el mismo que retiene líquidos a 30 000 ppm y filtra partículas de hasta 10 micrones (7).

Debido a que no tiene incorporado un drenador, se le ha instalado uno externo de tipo flotador (Apéndice B); sin embargo, es de notar que en el depósito hay presencia de aceite, dificultando la descarga de condensado. No se evidenció descarga de agua.



FIGURA 2.10 DRENADOR EN FILTRO SEPARADOR DE AGUA

Fuente: Autor del examen complejo

Con respecto al secador instalado, es de tipo refrigerativo. Se pudo constatar que cada tres minutos la válvula solenoide abre 1 segundo para descargar el condensado.

Este equipo funciona correctamente, sin embargo, existe un led indicador de temperatura permanentemente en rojo; esto se debe a la alta temperatura de aire que ingresa al secador, haciendo que la eficiencia de retención de humedad sea baja.

Siguiendo el sistema, se llega a un filtro de remoción de aceite de máxima eficiencia. Este filtro maneja cargas de agua líquida de 100 ppm y proporciona remoción de aerosoles de aceite de 0.0008 ppm y retiene partículas sólidas de hasta 0.01 micrones (7).

Para determinar la caída de presión, tiene un indicador cromático cuya pluma se encontró en color verde, mostrando que se encuentra en buen estado. Adicionalmente, tiene un drenador incorporado, en el cual se comprobó el drenado continuo de pequeñas gotas de agua.

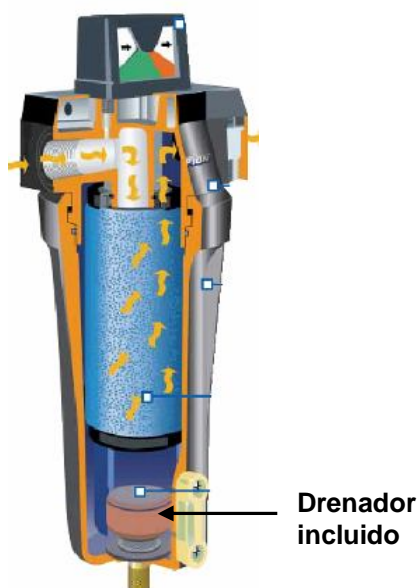


FIGURA 2.11 FILTRO DE ACEITE DE MÁXIMA EFICIENCIA

Fuente: Catálogo Champion – Filtros CFF

La caída de presión desde el ingreso al post enfriador hasta la salida del filtro de aceite es de 1 psi, valor considerado bueno comparado a la máxima permitida: 6 psi.

Una vez tratado el aire comprimido, ingresa al sistema de distribución para ser usado en los diferentes equipos que realizarán el mantenimiento de los cilindros de GLP.

1.5 Sistema de Distribución

Este sistema consta de un tanque acumulador, red de tuberías y drenadores de líquidos.

El almacenamiento se lo realiza por medio de un tanque acumulador y, aunque no existe placa que indique la capacidad, su altura de 2.70 mt y diámetro de 1.40 mt permite aproximar una capacidad de 4100 litros (aproximadamente 1000 gal).

Entre los accesorios que tiene este tanque están la válvula de corte, un filtro, drenador electrónico, manómetro y válvula de seguridad, elementos importantes en un tanque acumulador de aire comprimido.

La red de tubería se compone de dos líneas de 2". Una de ellas es una red abierta que alimenta a la máquina de pintar cilindros, la cual posee un drenador, requiriendo otro antes de entrar al equipo. La otra es un anillo que alimenta a los demás equipos que forman parte del área de mantenimiento y cuenta con 2 drenadores.

En la imagen adjunta se puede observar el primer drenaje del anillo, una pierna colectora con válvula de corte sin drenador y otra con drenador automático sin válvula de corte.

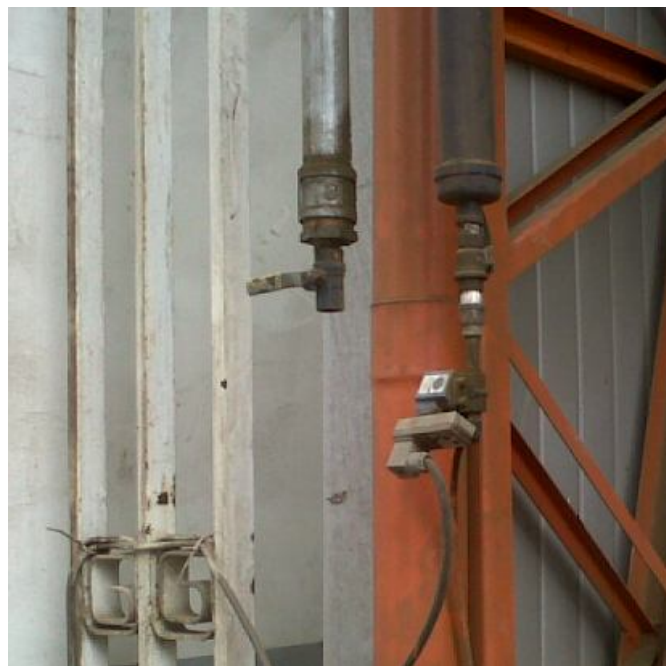


FIGURA 2.12 PURGADORES EN LÍNEA DE AIRE

Fuente: Autor del examen complejo

Se recomienda colocar drenadores que trabajen correctamente en presencia de aceite o suciedades; una alternativa es la de balde invertido, esta tiene una varilla en el orificio de descarga que evita que el aceite impida la salida del condensado. En el Apéndice B se muestra el funcionamiento de un drenador típico.

Existen mangueras que no están conectados a puntos de consumo. En otras áreas se comprobó que conectaban a equipos antiguos que ya no forman parte del taller. Se sugiere eliminar estos puntos, ya que en uno de ellos se detectó fuga en la unión.

Existe un distribuidor pequeño que entrega aire comprimido a unas roscadoras. Estas se utilizan cuando la máquina que está en la línea de producción no da abasto. Se deben tomar en cuenta las mismas recomendaciones que se dieron para el distribuidor principal, esto es: las salidas deben hacerse por arriba y un drenador del lado contrario de la entrada, esto para evitar que el condensado cause daño a las herramientas.



FIGURA 2.13 DISTRIBUIDOR DE AIRE EN ROSCADORAS

Fuente: Autor del examen complejo

Se constató que éstas roscadoras tienen daño en las piezas neumáticas y se evidenció presencia de humedad, obligando a que se realicen labores de reparación cada fin de semana.

En la máquina de Evacuación de aire existen dos cilindros neumáticos que cumplían la función de elevar las botellas, actualmente no cumplen función alguna. Se recomienda quitarlos o en su defecto retirar la alimentación de aire.



FIGURA 2.14 CILINDROS ELEVADORES DE BOTELLAS

Fuente: Autor del examen complejo

Mención especial tienen las fugas de aire comprimido, las cuales pueden estar presentes en cualquiera de los 3 sistemas. A lo largo de la red de distribución se constataron varias fugas audibles, lo cual es indicativo de pérdida de presión en la línea, con el consecuente funcionamiento casi continuo de los compresores, lo cual también se constató y el aumento de los costos de operación de las unidades.

El método corriente de resolver inconvenientes de producción en el lado de la demanda de aire comprimido es la elevación de la presión de suministro. En este caso, la presión de los compresores es regulada para que trabaje en el rango de 6.3 bar (91 psig) a 6.7 bar (97 psig). La presión que llega hasta los puntos consumidores bordea los 75 psig, lo cual representaría aproximadamente el 11% de caída de presión (tomando como base 85 psig), siendo la recomendación no exceder el 10% de la presión que entregan los compresores.

En el capítulo siguiente se mostrará un cálculo aproximado de pérdidas de aire por fugas en la línea.

CAPÍTULO 3

3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Se requieren cumplir tres condiciones específicas para que el uso del aire comprimido sea rentable (9):

- Cantidad de aire: Esta viene dada por el consumo de aire de todos los equipos que forman parte de la planta considerando un factor de simultaneidad. A partir de esta información se podrán dimensionar los equipos generadores de aire y los que realizarán el tratamiento respectivo antes del uso final.
- Calidad de aire: Cada industria requiere un tipo particular de aire para que los equipos funcionen de manera correcta y no presenten mayores daños en su vida útil. Por esta razón, se han elaborado normas que regulan esta condición. La calidad está determinada

por el grado de secado y el nivel de contaminantes requeridos por el usuario final (9).

- Caída de presión: Está determinada por el tamaño de la red de tuberías, el nivel de fuga permisible y la presión requerida por cada instrumento.

En este capítulo se tratarán con más detalle estos tres puntos con el objetivo de validar el sistema existente. Se determinará la demanda de aire para luego seleccionar los equipos de generación y tratamiento, continuando con la selección de la red y terminar, de acuerdo al funcionamiento del compresor, con una estimación de las fugas en el sistema.

1.6 Cálculo del consumo teórico de aire

Para determinar el consumo de aire primero se realizó un inventario de todos los equipos consumidores. Se encontró que muchos de estos equipos tienen entre sus componentes varios elementos neumáticos (en su mayoría cilindros) que realizan una tarea específica. Luego con esta información se realizó un seguimiento detallado del funcionamiento de cada elemento con el objeto de determinar los ciclos y así calcular el consumo de aire.

Tomando como guía la Figura 1.2 y el Plano 3, se muestra a continuación la lista de los equipos que utilizan aire en la planta:

TABLA 7

EQUIPOS CONSUMIDORES DE AIRE

| TABLA | MÁQUINA |
|-------|-------------------------------|
| 8 | Prueba Hidrostática |
| 9 | Evacuadora de agua |
| 10 | Colocadora de válvulas |
| 11 | Llenado de aire |
| 12 | Prueba de Estanqueidad |
| 13 | Evacuación de aire |
| 14 | Máquinas de soldar |
| 15 | Granalladora |
| 16 | Máquina aplicación de pintura |
| 17 | Impresora de Tara y Logo |

Fuente: Autor del examen complejo

Consideraciones para los cálculos de consumo.-

- Todos los cálculos se realizan considerando una presión de trabajo de 90 psig (6.2 bar).
- En el caso de los cilindros neumáticos, todos de doble efecto, se usará la recomendación de cálculo mostrada en el Apéndice C y los datos dimensionales en el Apéndice D.

- Los ciclos registrados se los obtuvieron realizando el seguimiento a cada máquina con sus respectivos elementos neumáticos.
- Existen máquinas que por su antigüedad no poseen datos de placa, en estos casos, se realizará una aproximación de acuerdo a hojas técnicas de equipos con funcionamiento similar.

TABLA 8
PRUEBA HIDROSTÁTICA

| Elemento neumático Datos del elemento | Freno Neumático | Fijadores de botella | Alzadores de botellas | Cilindros de cabezales | Freno de rodillos | Válvula de paso de agua | Válvula inyectora de agua |
|--|-----------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 63 | 63 | 100 | 100 | 63 | - | - |
| Carrera (mm) | 80 | 160 | 250 | 160 | 160 | - | - |
| Diámetro vástago (mm) | 20 | 20 | 25 | 25 | 20 | - | - |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | - | - |
| Ciclos por minuto: | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| Flujo por ciclo (lt) | - | - | - | - | - | 4.2 | 2.04 |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.03 | 0.07 | 0.27 | 0.17 | 0.07 | 0.04 | 0.02 |
| Cantidad cilindros: | 1 | 10 | 2 | 10 | 1 | 2 | 10 |
| Flujo de aire total (cfm) | 0.03 | 0.67 | 0.53 | 1.71 | 0.07 | 0.08 | 0.20 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 9

EVACUADORA DE AGUA

| Elemento neumático Datos del elemento | Inyector de aire a botellas | Válvula neumática Festo | Fijadores de botella | Freno neumático | Cilindros de inyectores | Alzadores de botellas |
|--|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | - | - | 63 | 63 | 63 | 100 |
| Carrera (mm) | - | - | 160 | 160 | 700 | 160 |
| Diámetro vástago (mm) | - | - | 20 | 20 | 20 | 25 |
| Presión (psig) | 50 | - | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Flujo por ciclo (lt) | - | 2.04 | - | - | - | - |
| Volumen cilindro GLP (ft ³) | 1.37 | - | - | - | - | - |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 6.03 | 0.07 | 0.24 | 0.24 | 1.04 | 0.61 |
| Cantidad cilindros: | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| Flujo de aire total (cfm) | 24.13 | 0.29 | 0.95 | 0.24 | 4.17 | 1.23 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 10

COLOCADORA DE VÁLVULAS

| Elemento neumático Datos del elemento | Freno neumático | Cabezal de roscadora | Alzador de botellas | Fijadores de botellas | Roscadoras |
|--|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 50 | 63 | 50 | 63 | - |
| Carrera (mm) | 160 | 160 | 80 | 160 | - |
| Diámetro vástago (mm) | 20 | 20 | 20 | 20 | - |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | - |
| Factor de uso | - | - | - | - | 0 |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.15 | 0.24 | 0.07 | 0.24 | 10.00 |
| Cantidad cilindros: | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Flujo de aire total (cfm) | 0.15 | 0.48 | 0.15 | 0.48 | 7.50 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 11

LLENADO DE AIRE

| Elemento neumático Datos del elemento | Inyector de aire a botellas | Cilindros de cabezal | Alzador de botellas | Freno neumático |
|--|-----------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Diámetro cilindro (mm) | - | 50 | 63 | 50 |
| Carrera (mm) | - | 320 | 80 | 160 |
| Diámetro vástago (mm) | - | 20 | 20 | 20 |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Volumen cilindro GLP (ft ³) | 1.37 | - | - | - |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 9.76 | 0.58 | 0.24 | 0.29 |
| Cantidad cilindros: | 3 | 3 | 3 | 1 |
| Flujo de aire total (cfm) | 29.29 | 1.75 | 0.72 | 0.29 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 12

PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

| Elemento neumático Datos del elemento | Freno neumático | Fijador de botellas | Elevador de botellas |
|--|-----------------|---------------------|----------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 50 | 32 | 100 |
| Carrera (mm) | 160 | 200 | 500 |
| Diámetro vástago (mm) | 20 | 12 | 25 |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1.70 | 1.70 | 1.70 |
| Volumen cilindro GLP (ft ³) | - | - | - |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.25 | 0.13 | 3.25 |
| Cantidad cilindros: | 2 | 10 | 2 |
| Flujo de aire total (cfm) | 0.49 | 1.28 | 6.51 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 13

EVACUACIÓN DE AIRE

| Elemento neumático Datos del elemento | Cilindros de cabezales | Fijador de botellas |
|--|------------------------|---------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 50 | 80 |
| Carrera (mm) | 320 | 160 |
| Diámetro vástago (mm) | 20 | 25 |
| Presión (psig) | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1.70 | 1.70 |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.49 | 0.65 |
| Cantidad cilindros: | 3 | 3 |
| Flujo de aire total (cfm) | 1.48 | 1.96 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 14

MÁQUINA DE SOLDAR

| Soldadora Hypertherm Powermax600 | |
|---|----|
| Presión (Psig): | 90 |
| Flujo unitario (cfm): | 6 |
| Cantidad: | 3 |
| Flujo de aire total (cfm): | 18 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 15
GRANALLADORA

| Elemento neumático Datos del elemento | Empujador de botellas | Freno neumático | Captador de polvo |
|--|-----------------------|-----------------|-------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 80 | 63 | 8 |
| Carrera (mm) | 400 | 100 | - |
| Diámetro vástago (mm) | 25 | 20 | - |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 40 |
| Ciclos por minuto: | 9.00 | 0.10 | - |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 8.66 | 0.01 | 10.60 |
| Cantidad equipos: | 1 | 1 | 1 |
| Flujo de aire total (cfm) | 8.66 | 0.01 | 10.60 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 16
MÁQUINA DE APLICACIÓN DE PINTURA

| Elemento neumático Datos del elemento | Freno neumático | Pistola de pulverización |
|--|-----------------|--------------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | 63 | - |
| Carrera (mm) | 160 | - |
| Diámetro vástago (mm) | 20 | - |
| Presión (psig) | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | 1 | - |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.12 | 26.50 |
| Cantidad cilindros: | 2 | 4 |
| Flujo de aire total (cfm) | 0.24 | 106.00 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 17

IMPRESORA DE TARA Y LOGO

| Elemento neumático Datos del elemento | Tablero Videojet | Elevadores de botellas | Freno neumático | Empujador colocador de marca | Empujador bandeja de pintura | Colocador de cabezal |
|--|------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Diámetro cilindro (mm) | - | 63 | 50 | 32 | 32 | 63 |
| Carrera (mm) | - | 120 | 100 | 160 | 80 | 160 |
| Diámetro vástago (mm) | - | 20 | 20 | 12 | 12 | 20 |
| Presión (psig) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Ciclos por minuto: | - | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
| Flujo de aire unitario (cfm) | 0.70 | 1.07 | 0.55 | 0.36 | 0.18 | 1.43 |
| Cantidad equipos: | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Flujo de aire total (cfm) | 1.40 | 2.15 | 1.09 | 0.36 | 0.18 | 2.86 |

Fuente: Autor del examen complejo

Teniendo los consumos usando las fórmulas correspondientes y con la información tomada en sitio, se tiene en la Tabla 8 el resumen en el que se muestra el consumo requerido por la planta:

TABLA 18
CONSUMO DE AIRE POR EQUIPOS

| EQUIPO | CONSUMO (cfm) |
|------------------------|----------------------|
| PRUEBA HIDROSTÁTICA | 3.29 |
| EVACUADORA DE AGUA | 31.01 |
| COLOCADORA DE VÁLVULAS | 8.74 |
| LLENADO DE AIRE | 32.04 |
| PRUEBA DE ESTANQUEIDAD | 8.28 |
| EVACUACIÓN DE AIRE | 3.45 |
| MÁQUINA DE SOLDAR | 18.00 |
| GRANALLADORA CYM | 19.28 |
| MÁQUINA DE PINTURA | 106.24 |
| IMPRESORA TARA Y LOGO | 8.04 |
| TOTAL TEÓRICO | 238.37 |

Fuente: Autor del examen complejo

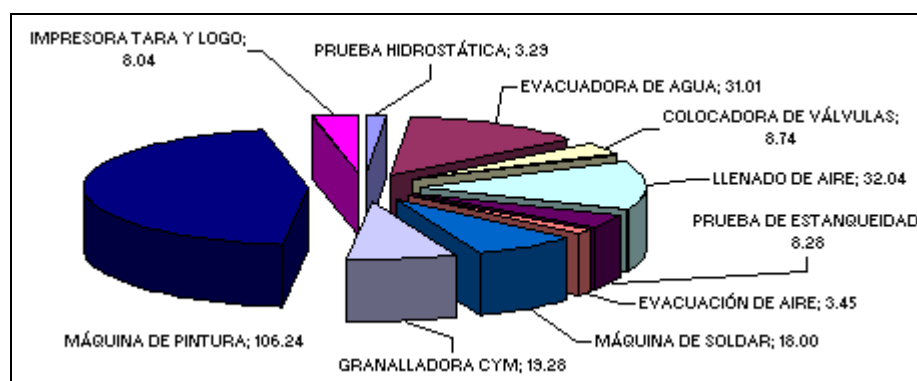


FIGURA 3.1 DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO TEÓRICO DE AIRE COMPRIMIDO A PLENA CARGA

Fuente: Autor del examen complejo

Siguiendo la recomendación de (8) mostrado en el Apéndice E, se puede usar un coeficiente de simultaneidad del 45% para talleres mecánicos, resultando:

$$238.37 \text{ cfm} \times 0.45 = 107.27 \text{ cfm}$$

A este resultado, continuando con la recomendación de (8), hay que añadir un 10% por pérdidas de aire admisibles por fuga, así como aumentar un 20% para prevenir posibles ampliaciones, con lo cual quedaría:

TABLA 19

CONSUMO REQUERIDO POR LA PLANTA

| | |
|-----------------------|-------------------|
| Consumo de aire | 107.27 cfm |
| 10% pérdida por fugas | 10.73 cfm |
| 20% ampliación | 21.45 cfm |
| TOTAL | 139.45 cfm |

Fuente: Autor del examen complejo

Con esta información, los equipos a seleccionar deben considerar este flujo calculado.

1.7 Validación de la capacidad instalada del sistema de generación

Según información mostrada en el numeral 2.1, existen dos compresores que funcionan simultáneamente y uno queda como unidad de respaldo, teniendo ambos capacidad para producir 261 cfm.

De aquí se tiene que, tomando en cuenta la cantidad de aire requerida por los equipos consumidores, se requiere el 53.4% del aire generado, quedando lo restante disponible para ampliaciones o para compensar las fugas que pudieren existir.

Sin embargo, es notable que con solo 1 compresor, sea el Cyclon 330 o el 6040N, se puede cubrir la demanda requerida, como se muestra en la Tabla 10:

TABLA 20
CONSUMO USANDO UN SOLO COMPRESOR

| Compresor | Generación (cfm) | % de uso (si se usa un solo compresor) |
|------------|------------------|---|
| Cyclon 330 | 171 | 81.5% |
| 6040N | 176 | 79.2% |

Fuente: Autor del examen complejo

Esta situación hace presumir que el nivel de fuga es tal que obliga a ambos compresores a entrar en funcionamiento para suplir aire a la planta y el sistema funcione correctamente.

Obviando las fugas, los compresores están acordes a los consumos calculados.

La humedad que ingresa al sistema de aire comprimido y que luego se transforma en condensado, debe ser retirado para evitar daños en los equipos consumidores. El nomograma que se muestra en el Apéndice F permite estimar la cantidad de agua que ingresa en base a la presión, humedad relativa por cada 1000 cfm.

Al usar este nomograma, con 90 psig y humedad relativa máxima de Guayaquil en 80%, la cantidad de agua que se genera es de (1.03 lb/min) / 1000 cfm. La capacidad de generación es de 261 cfm y debido a que la cantidad de agua condensada está en relación directa con esta generación (11), se tiene:

$$1.03 \text{ lb/min} \times 0.261 = 0.27 \text{ lb}_{\text{agua}}/\text{min}$$

Es decir que los compresores ingresan al sistema de aire comprimido 0.27 libras de agua por minuto, cantidad que debe ser eliminada por el secador y los drenadores.

1.8 Validación del sistema de tratamiento de aire

El estándar internacional ISO 8573-1 dicta las pautas que se validarán en este capítulo, el mismo especifica la cantidad de contaminación permisible en cada metro cúbico de aire comprimido (12).

Este estándar indica los principales contaminantes como partículas sólidas, agua y aceite. Los niveles de pureza para cada contaminante se muestran por separado, pero para facilitar el uso, este documento combina los tres contaminantes en una tabla de manera que sea fácil de usar (12), la misma se muestra en el Apéndice G.

Muchos fabricantes de sistemas de aire comprimido han ajustado la clase de tratamiento al tipo de industria en la que se vaya a necesitar el gas, de manera que al diseñar este sistema, sea de fácil selección de acuerdo a lo requerido.

Siguiendo estas pautas se usará la información del catálogo del fabricante del sistema de tratamiento instalado en la planta, el cual es de marca Champion. La Figura 3.2 da una guía rápida de ubicación de la industria de acuerdo al equipo más exigente en cuanto a calidad de aire, que en este caso es la pintura con polvo:

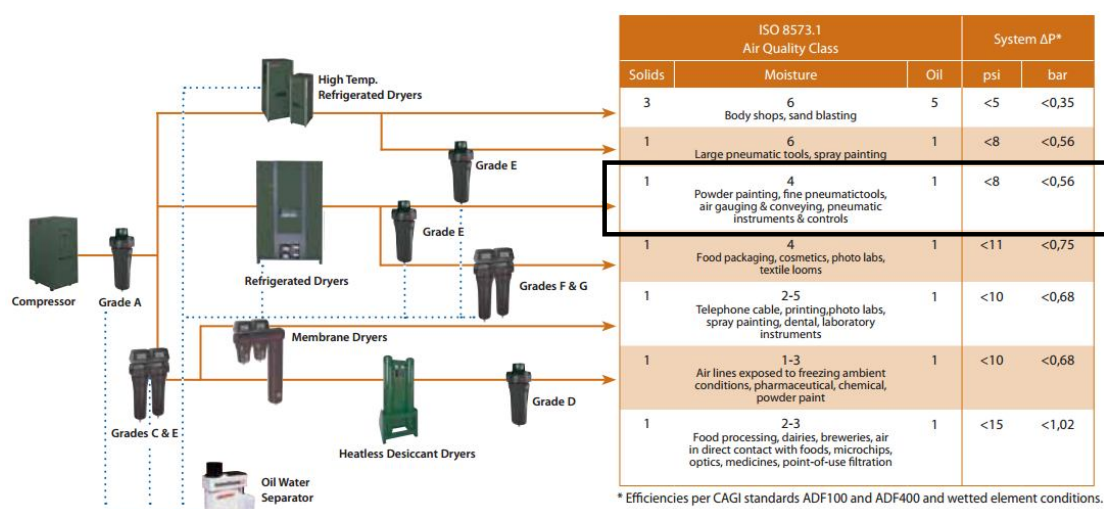


FIGURA 3.2 TIPO DE TRATAMIENTO DE ACUERDO A LA INDUSTRIA

Fuente: Champion – Catálogo de secadores CRN

Siguiendo la Figura 3.2 del catálogo de filtros de Champion, la calidad requerida para la empresa que se está analizando queda de la siguiente manera:

TABLA 21
CALIDAD DE AIRE REQUERIDA

| | | | |
|----------------|------------------|---------|------------------------|
| | Sólidos | Humedad | Aceite |
| Clase | 1 | 4 | 1 |
| Especificación | Max 0.1 micrones | ≤ +3°C | 0.01 mg/m ³ |

Fuente: Autor del examen complejo

En la Tabla 12 se muestra el sistema de tratamiento instalado con las características que ofrece. La información es tomada del catálogo de filtros del fabricante del Apéndice H:

TABLA 22
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
INSTALADO

| EQUIPO | MODELO | | SÓLIDOS (micrones) | HUMEDAD (ppm) | ACEITE (ppm) | OTROS |
|---------------------------------|----------------------|---|-----------------------|------------------|-----------------|--------|
| FILTRO SEPARADOR DE AGUA | CFF 485 ^a | | 10 | 30000 | --- | --- |
| SECADOR | CRN 400 | | --- | --- | --- | ≤ +3°C |
| FILTRO ACEITE MAXIMA EFICIENCIA | CFF 485 | F | 0.01 | 100 | 0.0008 | --- |

Fuente: Autor del examen complejo

Contrastando la información de la Tabla 11 con la de la Tabla 12, se concluye que en cuanto a cumplimiento de las normas el sistema de tratamiento está seleccionado correctamente cumpliendo la calidad requerida.

En cuanto al flujo de operación de los filtros, se han seleccionado para 400 cfm, sin embargo, de acuerdo al flujo requerido (139.45 cfm), el secador con los filtros deben tener capacidad mínimo de 170 cfm.

Los actuales están sobredimensionados, ocasionando un gasto en exceso en energía eléctrica (por el secador) y en repuestos (kit de repuestos de los filtros).

En cuanto al post enfriador, está seleccionado para 120 cfm. En este caso se encuentra subdimensionado, haciendo necesario el cambio por uno de mayor capacidad para que supla la cantidad de aire que se requiere y mejore la eficiencia del secador.

En el Apéndice I se muestra el catálogo del post enfriador instalado. Siguiendo la información de este Apéndice, se sugiere el cambio por un post enfriador modelo ACH 240.

1.9 Validación de la red de distribución de aire

La red existente en la planta tiene dos ramificaciones, una de configuración abierta de diámetro 2" que alimenta a la Máquina de Pintura y otra de configuración cerrada de 2" que alimenta a los demás usuarios y con ramales de 3/4" a sus puntos de consumo (Plano 3).

Para determinar si lo que está instalado es lo adecuado se tiene que calcular la caída de presión, y debido a que no se pretende pasar del 10% de la presión de suministro, se puede aplicar con exactitud razonable la fórmula de Darcy (15):

$$h_L = \frac{fLv^2}{D2g}$$

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida en medidas de presión, con lo cual quedaría:

$$\Delta P = \frac{8f\rho LQ^2}{\pi^2 D^5}$$

Esta fórmula considera el material, la longitud y el diámetro de la tubería, la densidad del aire comprimido y el caudal que pasa por la tubería.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que la velocidad del fluido no debe pasar de 10 m/s en líneas principales para evitar efectos de corrosión y también caída de presión.

Un punto más es considerar las distancias equivalentes debido a accesorios y válvulas, con lo cual se utiliza la tabla mostrada en el Apéndice J.

Se tomará el criterio de seleccionar un diámetro para la red principal y de acuerdo a los usuarios, el diámetro de cada bajante.

En el Apéndice K se muestra en detalle cómo se utiliza la fórmula de Darcy siguiendo las instrucciones de Crane (15) para calcular la caída de presión.

En la Tabla 15 se muestran los cálculos resultantes de caídas de presión dependiendo del diámetro de tubería:

TABLA 23
EQUIPO DE PINTURA: LONGITUD TOTAL INCLUYENDO
ACCESORIOS Y VÁLVULAS

| ACCESORIO | Diámetro (pulg) | Longitud equivalente (mt) | Cantidad | Total (mt) |
|----------------------|-----------------|---------------------------|--------------|-------------|
| Codo | 2" | 3.5 | 6 | 21 |
| Válvula de compuerta | 2" | 0.7 | 1 | 0.7 |
| Longitud recta | 2" | 51 | 1 | 51 |
| | | | TOTAL | 72.7 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 24
DEMÁS EQUIPOS: LONGITUD TOTAL INCLUYENDO
ACCESORIOS Y VÁLVULAS

| ACCESORIO | Diámetro (pulg) | Longitud equivalente (mt) | Cantidad | Total (mt) |
|----------------------|-----------------|---------------------------|--------------|--------------|
| Codo | 2" | 3.5 | 6 | 21 |
| Válvula de compuerta | 2" | 0.7 | 1 | 0.7 |
| Tee | 2" | 4 | 11 | 44 |
| Longitud recta | 2" | 89 | 1 | 89 |
| | | | TOTAL | 154.7 |

Fuente: Autor del examen complejo

TABLA 25

CAÍDA DE PRESIÓN A DIFERENTES DIÁMETROS

| Usuario | Diámetro (pulg) | Longitud (mt) | Flujo (cfm) | Velocidad del gas (m/seg) | Caída de presión (bar) | % caída de presión |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| Equipo de pintura | ¾" | 72.7 | 106.24 | 19.6 | 1.04 | 15.5 |
| | 1" | | | 12.2 | 0.40 | 6.0 |
| | 1 ½" | | | 5.16 | 0.07 | 1.1 |
| | 2" | | | 3.13 | 0.03 | 0.4 |
| Demás usuarios | ¾" | 154.7 | 132.13 | 22.7 | 3 | 44.3 |
| | 1" | | | 14.3 | 1.15 | 17.2 |
| | 1 ½" | | | 6.0 | 0.21 | 3 |
| | 2" | | | 3.6 | 0.076 | 1.1 |

Fuente: Autor del examen complejo

En ambos casos se puede notar que si bien un diámetro de 1 ½" cumple con la velocidad y caída permisible, la tubería de 2" instalada cumple también con ambas situaciones. Se puede concluir que los diámetros son los adecuados.

En cuanto al material, se puede utilizar cobre, acero al carbono, acero inoxidable, aluminio y plástico (14). Al no ser una aplicación farmacéutica ni un proceso alimenticio, no hay inconveniente con lo instalado: tubería de acero al carbono ASTM A53 en cédula 40.

Mención adicional requiere el acumulador de aire, el cual se puede dimensionar bajo la premisa de que la presión no pueda variar más de 0.7 bar sin causar problema, en ese caso, la capacidad del depósito en m^3 no debe ser inferior al caudal del compresor en m^3/min (8).

En ese caso, el volumen del tanque acumulador deberá ser:

$$139.45 \text{ cfm} = 3.95 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$3.95 = 3950 \text{ lt} = 1043 \text{ gal}$$

El acumulador actual es del 1000 gal, por lo tanto, el que está instalado cumple con lo solicitado.

1.10 Estimación de fugas de aire comprimido en el sistema

Las fugas de aire comprimido dependen de factores como: el número y tipo de conexiones, el número de veces que se conectan o desconectan acoples, la edad del sistema, la calidad de la unión de juntas, etc (14).

Una red de distribución de aire correctamente diseñada y mantenida, no presentará un nivel de fuga que exceda el 2 al 5%

de la capacidad de instalación. Condiciones promedio presentarán un 10% de fuga. Sin embargo, en instalaciones poco mantenidas, es bastante común encontrar un nivel mayor de 25% de fuga (14).

Las fugas causan pérdida de capacidad de aire en la red, la cual muchas veces es compensada con una mayor utilización del compresor -más aire-, traduciéndose en mayores costos de energía. Debido a los resultados obtenidos en los puntos anteriores, se puede asumir que el nivel de fugas es alto, por lo cual se procederá a realizar una estimación del mismo.

Los compresores instalados son del tipo “*carga/sin carga*”, situación que permite estimar fácilmente la cantidad de fugas en el sistema. Este método requiere las siguientes condiciones:

- Todos los equipos consumidores deben estar conectados y apagados
- Las válvulas de servicio deben estar abiertas

Una vez hecho esto se sigue el siguiente procedimiento:

- Se enciende el compresor Cyclon 330 (171 cfm) hasta que se detenga por alcanzar la presión de descarga. En este caso 6.7 bar.
- Registrar el tiempo que toma en bajar la presión hasta que arranque del compresor: 6.3 bar.
- Registrar el tiempo que toma en subir la presión hasta que apague el compresor

Realizar los dos últimos procedimientos tantas veces sean necesarias para tener mayor cantidad de datos a fin de obtener mayor precisión en los resultados.

Este método y la fórmula a continuación es sugerido por Enrique Carnicer (8) y Compressed Air Challenge (9)

$$Fuga(\%) = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

Al multiplicar el valor obtenido por el flujo que suministra el compresor, se obtendrán las pérdidas en el sistema. En la Tabla 16 se muestran los registros de carga y descarga del compresor Cyclin 330 realizado un día domingo, cuando la planta está sin producir. En la Figura 3.3 se muestra un diagrama indicando los

tiempos registrados y la regularidad que presentan los tiempos de carga y descarga.

Con los valores de la Tabla 16 y aplicando la fórmula de fugas previamente mostrada, se obtiene un porcentaje de fugas de 61.4%, lo cual corresponde a 105 cfm perdidos. Este porcentaje se puede considerar excesivamente alto.

TABLA 26

REGISTROS DE CARGA Y DESCARGA DE AIRE

| Prueba | t ₁ (seg) | t ₁ (min) | t ₂ (seg) | t ₂ (min) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 85 | 1.42 | 48 | 0.80 |
| 2 | 82 | 1.37 | 56 | 0.93 |
| 3 | 83 | 1.38 | 55 | 0.92 |
| 4 | 87 | 1.45 | 53 | 0.88 |
| 5 | 86 | 1.43 | 54 | 0.90 |
| 6 | 87 | 1.45 | 53 | 0.88 |
| 7 | 87 | 1.45 | 53 | 0.88 |
| 8 | 89 | 1.48 | 55 | 0.92 |
| 9 | 81 | 1.35 | 55 | 0.92 |
| 10 | 87 | 1.45 | 54 | 0.90 |
| t_{promedio} | 85.40 | 1.42 | 53.60 | 0.89 |

Fuente: Autor del examen complejo

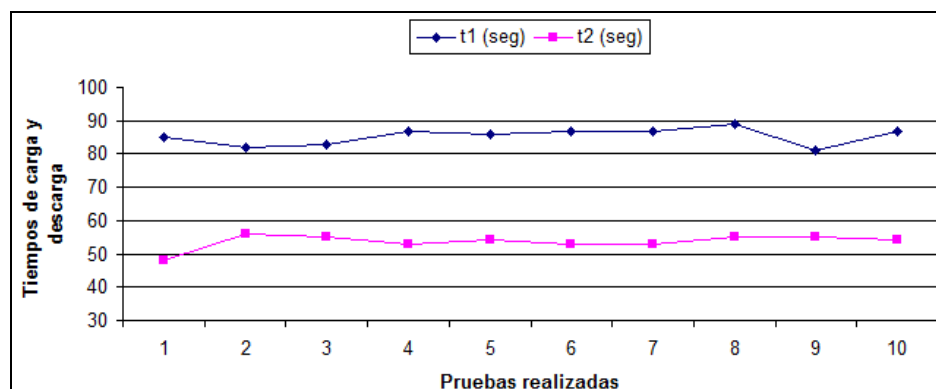


FIGURA 3.3 COMPORTAMIENTO DE TIEMPOS DE CARGA Y DESCARGA

Fuente: Autor del examen complejo

Un sistema de aire comprimido con fugas dentro de los rangos aceptables debería presentar el tiempo de carga más bajo que el tiempo de descarga.

Sumando sólo el consumo teórico calculado más lo que corresponde en fugas, los compresores deben entregar para mantener los niveles de presión aceptables:

$$107.27 + 105 = 212.27 \text{ cfm}$$

Es notorio que el aire comprimido generado es aproximadamente igual al que se pierde.

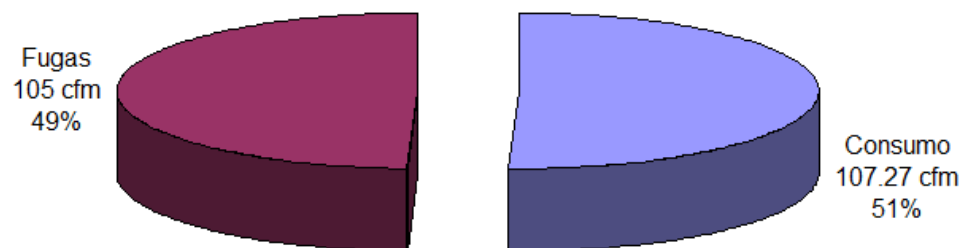


FIGURA 3.4 DISTRIBUCIÓN DE USO DE AIRE COMPRIMIDO

Fuente: Autor del examen complejo

De aquí se tiene el motivo por el que dos compresores tienen que funcionar de forma simultánea, pese a que el sistema de generación (si tuviera un nivel de fugas aceptable) está en capacidad de funcionar con un solo compresor.

CAPÍTULO 4

4. PROPUESTA DE MEJORAS

Luego de haber realizado las validaciones necesarias tanto cualitativa como cuantitativamente, en este capítulo se indicarán las propuestas de mejora en cada sistema que comprende la instalación del aire comprimido. Al final del mismo se presentará un resumen de costos correspondientes a la implementación.

1.11 Mejoras en el cuarto de compresores

A continuación se muestran las mejoras sugeridas en esta área:

- Una vez que se corrijan las fugas en la red de aire, utilizar solo un compresor para el suministro. Con esto se logra que más de una unidad pueda permanecer como respaldo, con el consiguiente ahorro en energía eléctrica.

- Cambiar la configuración del distribuidor de aire, haciendo que tanto las entradas como las salidas se realicen por la parte superior. Esta implementación será un primer obstáculo para el ingreso de la humedad al sistema.
- Realizar e instalar una pierna colectora en el distribuidor siguiendo el modelo de la Figura 2.6. Este será también un obstáculo para el paso de humedad.
- Se deben colocar válvulas de retención en la línea de conexión entre los 3 compresores, con esto evita la posibilidad de contraflujo.

1.12 Mejoras en el tratamiento del aire

Las siguientes mejoras están orientadas a reducir la presencia de humedad en el sistema de aire, ya que en cuanto a calidad, los equipos instalados cumplen con el estándar.

- Gestionar el cambio del post enfriador, o en su defecto instalar otro de similar tamaño conectado en paralelo, con el objetivo de disminuir la temperatura del aire a niveles aceptables antes de

ingresar al secador, de esta manera se mejorará la eficiencia en la retención de humedad.

- Colocar un drenador en la parte baja del post enfriador, a la salida del mismo.
- Cambiar el drenador tapado en el filtro separador de agua.
- Evaluar la conveniencia de cambiar los filtros CFF 485 a filtros CFF 170, de manera que disminuyan los costos por la compra del cartucho de repuestos.

1.13 Mejoras en la red de distribución

En este punto también hay mejoras a implementar con el objeto de aumentar la eficiencia de operación usando aire comprimido.

- Aplicar la inclinación de la red 2° respecto a la horizontal y junto con la instalación de un drenador antes de la entrada del equipo de pintura en la red abierta mejorará el drenado de los condensados.

- Colocar 6 drenajes en la red cerrada también ayudará con el retiro de los condensados con el consecuente cuidado de los equipos neumáticos.

- Para ayudar en la disminución de fugas en la red, eliminar los puntos que están fuera de uso; en el mejor de los casos colocar tapones.

- En el distribuidor que alimenta a las roscadoras neumáticas colocar el respectivo drenador y que la salida de los puntos de uso sean por arriba.

- Implementar un programa de inspección y corrección de fugas en toda la red, abarcando desde el sistema de generación hasta los puntos de uso. Con esto se puede lograr usar un solo compresor para el uso de toda la planta. Los ahorros en esta parte serán significativos tanto en energía eléctrica como en repuestos.

1.14 Resumen de costos de aplicación de mejoras

En este apartado se presentan los costos relativos a la implementación de las mejoras expuestas en los numerales anteriores.

En todos los costos se considera un mecánico senior y un ayudante mecánico, trabajando en horas laborables.

Modificación del distribuidor principal.-

En la Tabla mostrada a continuación se indican los costos en los que se incurren por adecuar el distribuidor principal de acuerdo a lo sugerido:

TABLA 27
COSTO POR MODIFICACIÓN DEL DISTRIBUIDOR PRINCIPAL

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|---|----------|
| Desmontaje de distribuidor | \$717.16 |
| Corte y adecuación de soporte de distribuidor | |
| Adecuación toman de manómetro | |
| Reubicación de salida principal | |
| Instalación de pierna colectora y drenador | |
| Montaje y conexión de distribuidor | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Instalación de válvulas de retención.-

El costo aquí calculado incluye la instalación de 3 válvulas de retención.

TABLA 28
COSTO POR INSTALACIÓN DE VÁLVULAS DE RETENCIÓN

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|--------------------------------------|----------|
| Corte de tubería | \$298.60 |
| Fabricación de roscas | |
| Instalación de uniones universales | |
| Instalación de válvulas de retención | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Aumento de Post enfriador.-

TABLA 29
COSTO POR AUMENTO DE POST ENFRIADOR

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|--|-----------|
| Instalación de nuevo enfriador | \$1870.56 |
| Instalación de pierna colectora y drenador | |
| Interconexión de equipos | |
| Materiales y equipos | |

Fuente: Autor del examen complejo

Cambio del drenador de filtro separador de agua.-

TABLA 30
COSTO POR CAMBIO DE DRENADOR DE FILTRO
SEPARADOR DE AGUA

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|--------------------------------|----------|
| Desmontaje de antiguo drenador | \$142.16 |
| Instalación de nuevo drenador | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Cambio de filtros de línea.-

Para este caso técnicamente los filtros funcionan correctamente, sin embargo en cuanto a repuestos, se tendría que revisar la vía económica para determinar si conviene mantener los filtros actuales o se cambia por nuevos filtros con sus respectivos kits de reparación.

TABLA 31
COMPARACIÓN DE COSTOS DE KITS DE FILTROS

| COSTO KIT 485 | COSTO FILTRO 170 | COSTO KIT 170 |
|------------------|---------------------|------------------|
| \$235.00 | \$387.50 | \$98.75 |
| \$313.75 | \$518.75 | \$177.50 |

Fuente: Autor del examen complejo

De acuerdo a los valores mostrados en la Tabla , para justificar el costo de cambiar los filtros se tiene que invertir en los filtros nuevos y la compra de 2 kits por cada filtro. Con eso, en tres años se recupera la inversión realizada:

TABLA 32

ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN EN FILTROS

| TIPO DE FILTRO | KITS 485 HASTA EL 2DO AÑO | FILTROS Y KITS 170 HASTA EL 2DO AÑO | DIFERENCIA | KITS 485 HASTA EL 3ER AÑO | FILTROS Y KITS 170 HASTA EL 3ER AÑO | DIFERENCIA (AHORRO) |
|----------------|---------------------------|-------------------------------------|------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Filtros A | 470.00 | 483.25 | -13.25 | 705.00 | 585.00 | 120.00 |
| Filtros F | 627.50 | 696.25 | -68.75 | 941.25 | 873.75 | 67.50 |
| Totales | 1097.50 | 1179.50 | -82.00 | 1646.25 | 1458.75 | 187.50 |

Fuente: Autor del examen complejo

Al tercer año ya se puede ver el primer ahorro de \$187.50. Desde el cuarto año, el ahorro será de:

$$\text{Costo kits filtros 485} - \text{Costo kits filtros 170} = \$272.50$$

Como se indicó anteriormente, la decisión de cambio es netamente económica, ya que a nivel técnico no se tiene mayor reparo.

Cambio de secador.-

Este es un caso similar al de los filtros. A pesar de que técnicamente no hay inconveniente, el análisis se lo hace desde la perspectiva económica.

TABLA 33

ANÁLISIS DE COSTOS POR COMPRA DE SECADOR DE AIRE

| SECADOR | Consumo eléctrico (kW) | Consumo eléctrico (\$/año) | Costo kit de reparación | Costo secador nuevo |
|---------|------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|
| CRN 400 | 2.03 | 271.27 | \$582.00 | - |
| CRN 200 | 1.26 | 168.38 | \$324.00 | \$4851.00 |
| | Diferencia | 102.89 | \$258.00 | |

Fuente: Autor del examen complejo

Retorno de inversión:

$$\frac{\text{Costo secador nuevo}}{\Delta\text{Consumo eléctrico} + \Delta\text{Costo kit}} = \frac{\$4851}{102.89+258} = 13.4$$

Según el cálculo mostrado, el retorno de inversión sería poco más de 13 años aproximadamente, lo cual no hace rentable la inversión y hace que el secador se mantenga.

Inclinación de tubería a Equipo de pintura.-

TABLA 34**COSTO INCLINACIÓN DE TUBERÍA A EQUIPO DE PINTURA**

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|---|----------|
| Retiro de soportería | \$377.40 |
| Reubicación de soportería | |
| Reubicación de tubería | |
| Instalación de pierna colectora y drenador (2 unidades) | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Circuito cerrado.-

TABLA 35

**COSTO DE INSTALACIÓN DE DRENADORES EN EL CIRCUITO
CERRADO**

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|---|----------|
| Instalación de pierna colectora y drenador (6 unidades) | \$821.76 |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Eliminación de puntos sin uso.-

TABLA 36
COSTO DE ELIMINAR PUNTOS SIN USO

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|----------------------------------|----------|
| Desmontaje de línea desde salida | \$137.60 |
| Instalación de tapones | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Distribuidor de roscadoras.-

TABLA 37
COSTO POR MODIFICACIÓN DE DISTRIBUIDOR DE
ROSCADORAS

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|--|----------|
| Desmontaje de distribuidor | \$265.56 |
| Colocación de punto para ingreso de aire | |
| Montaje y conexión del distribuidor | |
| Instalación de pierna colectora y drenador | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Fugas de aire comprimido.-

TABLA 38
COSTO POR CORRECCIÓN DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|----------------------------------|----------|
| Inspección y etiquetado de fugas | \$478.00 |
| Corrección de fugas | |
| Materiales | |

Fuente: Autor del examen complejo

Resumen de costos.-

TABLA 39
RESUMEN DE COSTOS

| RUBROS | COSTO |
|--|------------------|
| Eliminación puntos de uso | \$137.60 |
| Cambio de drenador en filtro de agua | \$142.16 |
| Modificación de distribuidor de roscadoras | \$265.56 |
| Instalación de válvulas de retención | \$298.60 |
| Inclinación de tubería a Equipo de pintura | \$377.40 |
| Inspección y corrección de fugas | \$478.00 |
| Modificación de distribuidor principal | \$717.16 |
| Instalación drenadores en circuito cerrado | \$821.76 |
| Aumento de post enfriador | \$1870.56 |
| TOTAL | \$5108.80 |

Fuente: Autor del examen complejo

En este apartado se realizará un cálculo de pérdida monetaria debido a fugas de aire comprimido; pero previamente, se debe calcular el costo actual del cfm producido.

De acuerdo a la sugerencia de (9), el costo de electricidad anual por generar aire comprimido es el siguiente:

$$\text{costo cfm}_{\text{generado}} = \left(\frac{hp_{\text{generado}} \cdot 0.746}{0.9 \cdot cfm_{\text{generado}}} \right) \left(\frac{\$}{kWh} \right)$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$\text{costo cfm}_{\text{generado}} = \left(\frac{40 \cdot 0.746}{0.9 \cdot 171.28} \right) (0.058 \frac{\$}{kWh}) = \$0.0112 / \text{cfm} \cdot \text{hr}$$

Teniendo en cuenta que la fuga determinada en el numeral 3.5 es de 105 cfm, el costo por hora de la pérdida es de \$1.18.

Traduciendo a costos anuales, teniendo en cuenta el horario de trabajo según el numeral 2.1 (2304 hr/año), estos son de **\$2718.72**.

Al determinar el retorno de inversión por realizar la corrección de las fugas, se tiene lo siguiente:

$$\frac{\$478}{\$2718.72/\text{año}} = 0.18 \text{ años}$$

Esto significa que la inversión tendrá un tiempo de retorno de poco más de 2 meses aproximadamente.

Los ahorros por corregir fugas en la mayoría de los casos normalmente son altos y se amortizan en corto tiempo, logrando un mejor desempeño en el corto plazo.

Incluso es posible usar el ahorro generado para aplicar las otras mejoras, haciendo más eficiente el sistema de aire comprimido.

Con los cuadros mostrados, dependerá de la gerencia general qué inversiones realizará primero, debiendo enfocarse en la corrección de fugas en primer lugar y luego en los elementos de drenado.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez presentado el estado actual de la instalación, determinado la validación del sistema y mostrado las propuestas de mejoras, se llegan a las conclusiones dadas a continuación; a su vez, las recomendaciones mostradas se basan en dos consideraciones: manuales de equipos y experiencia en el manejo de este tipo de sistemas.

CONCLUSIONES

- La metodología aplicada en este examen complejo permite a una pequeña o mediana industria determinar, usando sus propios recursos, el estado de un sistema de aire comprimido.
- La falta de registros estadísticos de consumos eléctricos, costos de consumo de energía del sistema de generación y de elementos

neumáticos cambiados, dificulta una evaluación comparativa luego de la aplicación de las mejoras.

- Luego de los cálculos realizados y comparados con las referencias bibliográficas, se validan favorablemente los tres subsistemas instalados.

- El daño de los cilindros neumáticos debido a la humedad se debe a la falta de elementos de drenado que permitan eliminar el condensado.

- El nivel de fuga determinado, 61.4% - 105 cfm, es tal que prácticamente obliga al sistema de generación a poner en funcionamiento dos compresores.

- Aproximadamente un compresor se utiliza para compensar las fugas, incurriendo en costos innecesarios como energía eléctrica y mantenimiento más frecuente de las unidades.

RECOMENDACIONES

- Mantener el plan actual de mantenimiento de los equipos de generación generará mayor confiabilidad, permitirá controlar los gastos y supondrá un stock mínimo de repuestos para tal fin.

- Incluir en el plan de mantenimiento a los sistemas de tratamiento y de distribución de aire comprimido.

- En lo posible, para todos los sistemas de drenado de condensados, seguir el modelo de pierna colectora ilustrado en la Figura 2.6.

- Realizar la prueba de fuga con los equipos consumidores apagados por lo menos dos veces al año, de manera que se pueda dar un seguimiento que permita tomar acciones anticipadas.

- Implementar y ejecutar un programa de inspección y corrección de fugas, tanto en el corto plazo como uno que se realice de forma periódica.

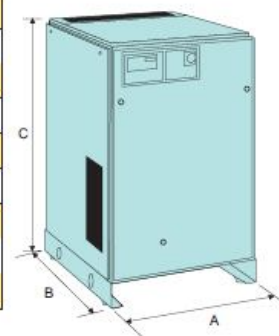
APÉNDICES

APÉNDICE A

DATOS DE COMPRESOR CYCLON DE COMPAIR

| Model | Drive Motor* | | Free Air Delivered at Working Pressure Stated** | | | | | | | | | |
|------------|--------------|---------------------|---|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | | bar g | psi.g | bar g | psi.g | bar g | psi.g | bar g | psi.g | bar g | psi.g |
| | | | 7.5 | 109 | 8.2 | 119 | 10 | 145 | 13 | 188 | 14 | 203 |
| kW | hp | m ³ /min | cfm | m ³ /min | cfm | m ³ /min | cfm | m ³ /min | cfm | m ³ /min | cfm | |
| Cyclon 105 | 5.5 | 7.5 | 0.86 | 30.37 | 0.81 | 28.61 | 0.71 | 25.07 | 0.51 | 18.1 | 0.50 | 17.66 |
| Cyclon 107 | 7.5 | 10.0 | 1.25 | 44.14 | 1.16 | 40.97 | 1.10 | 38.85 | 0.78 | 27.55 | 0.77 | 27.19 |
| Cyclon 111 | 11.0 | 15.0 | 1.76 | 62.15 | 1.70 | 60.04 | 1.50 | 52.97 | 1.24 | 43.79 | 1.17 | 41.32 |
| Cyclon 215 | 15.0 | 20.0 | 2.59 | 91.47 | 2.40 | 84.76 | 2.23 | 78.75 | 1.72 | 60.74 | 1.61 | 56.86 |
| Cyclon 218 | 18.5 | 25.0 | 3.25 | 114.77 | 3.02 | 106.65 | 2.63 | 92.88 | 2.06 | 72.75 | 2.04 | 72.04 |
| Cyclon 222 | 22.0 | 30.0 | 3.68 | 129.26 | 3.45 | 121.84 | 3.18 | 112.3 | 2.75 | 97.12 | 2.60 | 91.82 |
| Cyclon 330 | 30.0 | 40.0 | 4.85 | 171.28 | 4.65 | 164.21 | 4.22 | 149.03 | 3.29 | 116.19 | — | — |
| Cyclon 337 | 37.0 | 50.0 | 6.16 | 217.54 | 5.83 | 205.89 | 5.10 | 180.11 | 4.28 | 151.15 | — | — |
| Cyclon 345 | 45.0 | 60.0 | 7.42 | 262.04 | 6.83 | 241.20 | 6.26 | 221.07 | 5.20 | 183.64 | — | — |
| Cyclon 455 | 55.0 | 75.0 | 9.31 | 328.6 | 8.84 | 312.2 | 7.92 | 279.8 | 7.00 | 247.2 | — | — |
| Cyclon 475 | 75.0 | 100 | 11.30 | 398.8 | 10.81 | 381.88 | 9.87 | 348.5 | 8.56 | 302.2 | — | — |

| Model | Weight | | Dimensions mm | | | Average Noise Level dB(A)† | Air Outlet Conn |
|------------|--------|------|---------------|------|------|----------------------------|---------------------------------|
| | kg | lbs | A | B | C | | |
| Cyclon 105 | 286 | 629 | 710 | 760 | 925 | 66 | G ³ / ₄ |
| Cyclon 107 | 292 | 642 | 710 | 760 | 925 | 67 | G ³ / ₄ |
| Cyclon 111 | 351 | 772 | 710 | 1000 | 925 | 68 | G ³ / ₄ |
| Cyclon 215 | 489 | 1076 | 710 | 1165 | 1252 | 68 | G1 ¹ / ₄ |
| Cyclon 218 | 504 | 1109 | 710 | 1165 | 1252 | 69 | G1 ¹ / ₄ |
| Cyclon 222 | 517 | 1137 | 710 | 1165 | 1252 | 69 | G1 ¹ / ₄ |
| Cyclon 330 | 939 | 2070 | 990 | 1420 | 1650 | 68 | Rp1 ¹ / ₂ |
| Cyclon 337 | 945 | 2083 | 990 | 1420 | 1650 | 69 | Rp1 ¹ / ₂ |
| Cyclon 345 | 1043 | 2299 | 990 | 1420 | 1650 | 70 | Rp1 ¹ / ₂ |
| Cyclon 455 | 1370 | 3014 | 1800 | 1200 | 1650 | 74 (73)* | RP2 |
| Cyclon 475 | 1370 | 3014 | 1800 | 1200 | 1650 | 75 (74)* | RP2 |



Fuente: Compair, Cyclon Rotary Screw Compressors

APÉNDICE B

FUNCIONAMIENTO DE UN DRENADOR TIPO FLOTADOR



Armstrong® Float Type Drain Traps

Closed Float

Hollow, thin-wall metal floats are attached through linkages to valves at the trap bottom, and a seat with an appropriately sized orifice is inserted at the trap outlet. Floats are selected to provide adequate buoyancy to open the valve against the pressure difference. Discharge usually is to atmosphere, so the pressure drop is equal to the system air pressure. The float and linkage are made of stainless steel, and the valve and seat are hardened stainless steel for wear resistance and long life. The body is cast iron, stainless steel, or cast or forged steel depending on gas pressure. Bodies may be made of stainless steel to resist corrosive gas mixtures.

Entering liquid drops to the bottom of the body. As liquid level rises, the ball is floated upward, thereby causing the valve to open sufficiently that outlet flow balances inlet flow. Subsequent change of incoming flow raises or

lowers water level further opening or throttling the valve. Thus discharge is proportionally modulated to drain liquid completely and continuously. However, gas flow may be constant or it may abruptly change depending on system demand characteristics. Liquid formation may be sporadic, the nature of flow generation may cause surges. At times flow will be very low, requiring operation to throttle the flow or even tight shut-off. Tightness of closure, gas leakage a trap cost will depend on the design of linkage and valve.

Free Floating Lever

The discharge from the No. 1-LD is continuous. The opening of the valve is just wide enough to remove the liquid as fast as it comes to the trap. Thus, at times, the valve is barely cracked from its seat.

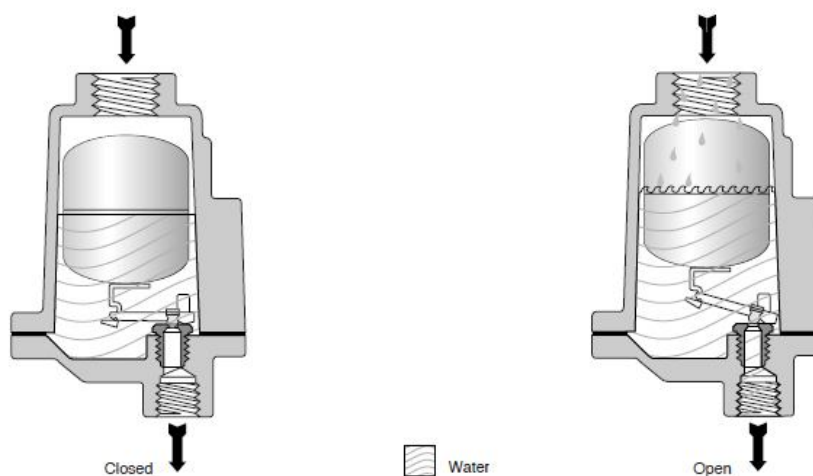


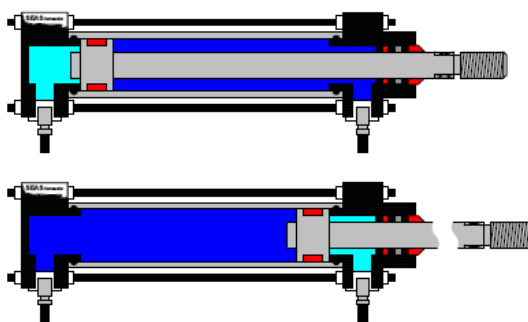
Figure LD-8. Operation of the No. 1-LD Free Floating Lever Drain Trap
As water begins to fill the body of the trap, the float rises, opening the discharge valve. Motion of the free floating valve lever is guided to provide precise closure.

Fuente: Armstrong – Draining liquids from Compressed Air

APÉNDICE C

CÁLCULO DE CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO EN CILINDROS NEUMÁTICOS

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo, por lo que pueden realizar trabajo en ambos sentidos (16).



Para calcular la cantidad de aire que se requiere para hacer trabajo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{s\pi n(rc)}{4} (2d_c^2 - d_v^2)$$

La “relación de compresión” rc viene dada por la siguiente expresión:

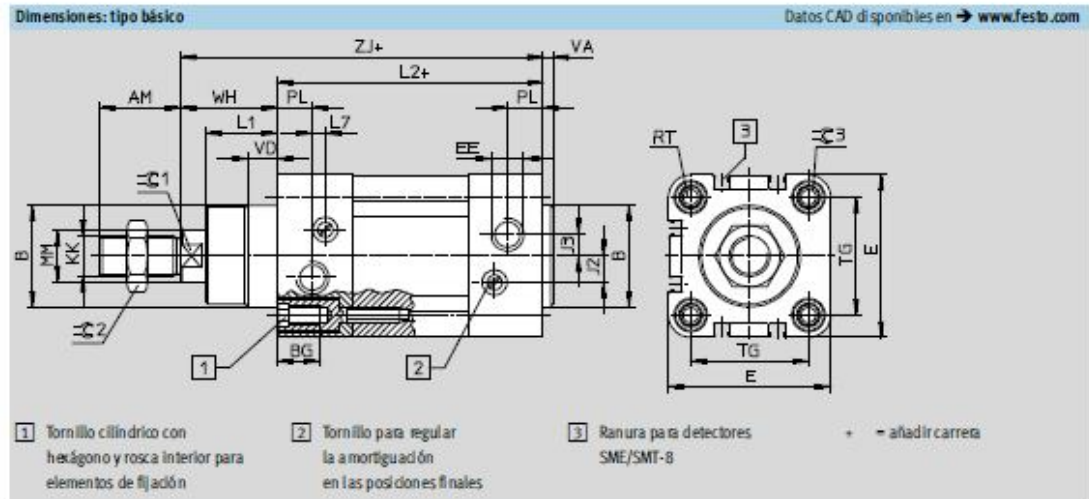
$$\frac{101.3 + p_{trabajo}}{101.3}$$

Los datos dimensionales de los cilindros neumáticos vienen dados en el Apéndice B.

APÉNDICE D DATOS DIMENSIONALES DE CILINDROS NEUMÁTICOS FESTO

Cilindros normalizados DNC, ISO 15552

Hoja de datos



| ∅ [mm] | AM | B ∅ d11 | BG | E | EE | J2 | | J3 | KK | L1 | L2 |
|-----------|----|---------------|----|-----|-----------------|------|----|-----|----------|------|-----|
| | | | | | | | T | | | | |
| 32 | 22 | 30 | 16 | 45 | G $\frac{3}{8}$ | 6 | | 5,2 | M10x1,25 | 18 | 94 |
| 40 | 24 | 35 | 16 | 54 | G $\frac{1}{4}$ | 8 | | 6 | M12x1,25 | 21,5 | 105 |
| 50 | 32 | 40 | 17 | 64 | G $\frac{3}{4}$ | 10,4 | 11 | 8,5 | M16x1,5 | 28 | 106 |
| 63 | 32 | 45 | 17 | 75 | G $\frac{3}{8}$ | 12,4 | | 10 | M16x1,5 | 28,5 | 121 |
| 80 | 40 | 45 | 17 | 93 | G $\frac{3}{8}$ | 12,5 | | 8 | M20x1,5 | 34,7 | 128 |
| 100 | 40 | 55 | 17 | 110 | G $\frac{1}{2}$ | 12 | | 10 | M20x1,5 | 38,2 | 138 |
| 125 | 54 | 60 | 22 | 134 | G $\frac{1}{2}$ | 13 | | 8 | M27x2 | 46 | 160 |

| ∅ [mm] | L7 | MM ∅ | PL | RT | TG | VA | VD | WH | ZJ | ∅C1 | ∅C2 | ∅C3 |
|-----------|------|---------|------|-----|------|----|------|----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 3,6 | 16 | 14 | M6 | 38 | 4 | 10,5 | 30 | 135 | 13 | 18 | 6 |
| 50 | 5,1 | 20 | 14 | M8 | 46,5 | 4 | 11,5 | 37 | 143 | 17 | 24 | 8 |
| 63 | 6,6 | 20 | 17 | M8 | 56,5 | 4 | 15 | 37 | 158 | 17 | 24 | 8 |
| 80 | 10,5 | 25 | 16,4 | M10 | 72 | 4 | 15,7 | 46 | 174 | 22 | 30 | 6 |
| 100 | 8 | 25 | 18,8 | M10 | 89 | 4 | 19,2 | 51 | 189 | 22 | 30 | 6 |
| 125 | 14 | 32 | 18 | M12 | 110 | 6 | 20,5 | 65 | 225 | 27 | 36 | 8 |

Fuente: Festo, Cilindros Normalizados DNC, ISO 15552

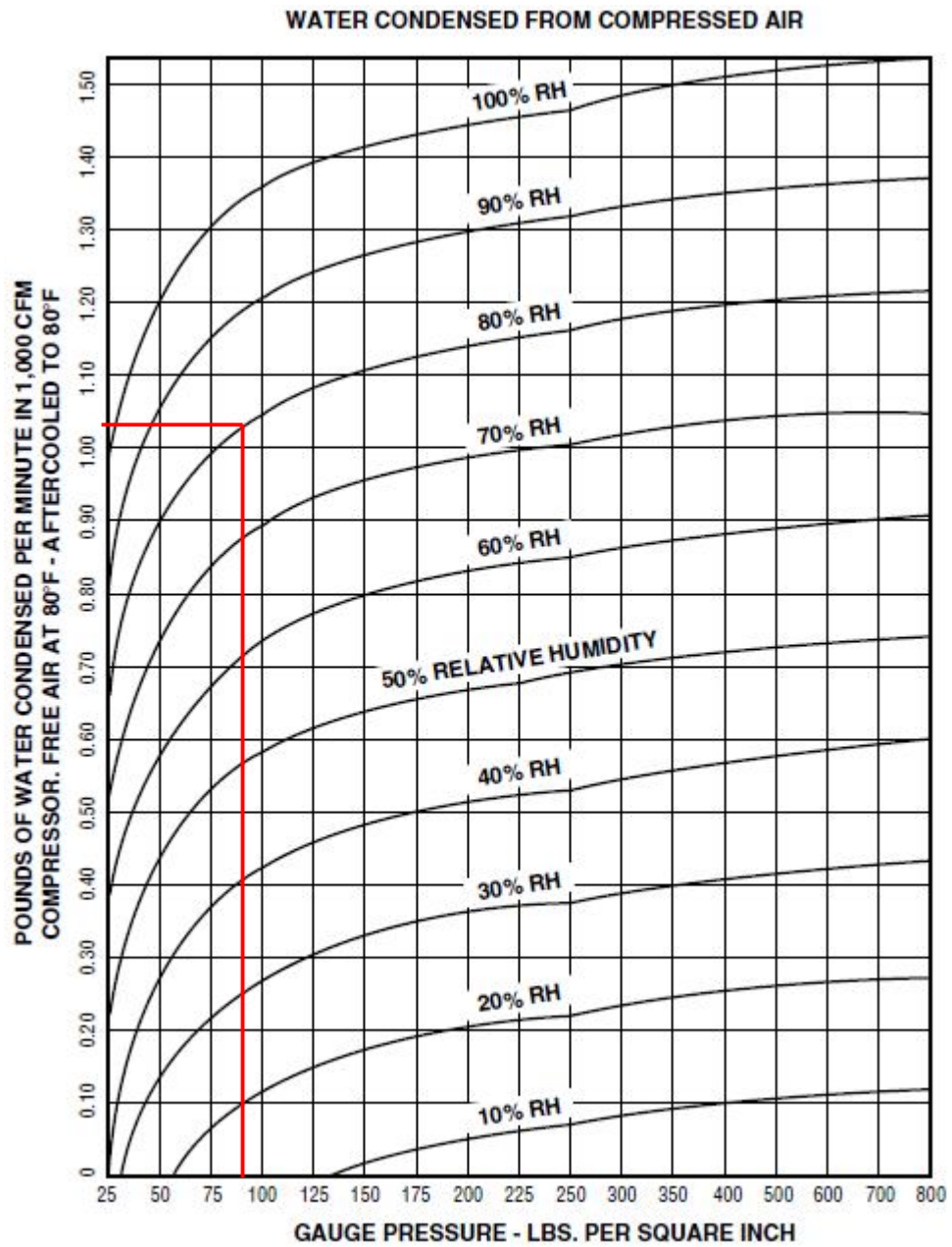
APÉNDICE E**COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD DE VARIAS INDUSTRIAS**

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

Fuente: Enrique Carnicer, Aire Comprimido

APÉNDICE F

AGUA CONDENSADA DESDE EL COMPRESOR DE AIRE



Fuente: Armstrong – Draining liquids from Compressed Air

APÉNDICE G

TABLA DE CALIDAD DE AIRE COMPRIMIDO SEGÚN ISO 8573-1

STANDARDS PER ISO 8573.1

| Quality Classes | Solid Contaminants (maximum particle size in microns) | Max. Pressure Dew Points °F (°C) | Maximum Oil Content (droplets, aerosols, & vapor ppm w/w (MG/M ³)) |
|-----------------|--|-------------------------------------|---|
| 0 | as specified | as specified | as specified |
| 1 | 0.1 | -94 (-70) | 0.008 (0,01) |
| 2 | 1 | -40 (-40) | 0.08 (0,1) |
| 3 | 5 | -4 (-20) | 0.8 (1) |
| 4 | 15 | 38 (3) | 4 (5) |
| 5 | 40 | 45 (7) | 21 (25) |
| 6 | - | 50 (10) | - |

Fuente: Champion, Refrigerated compressed air dryers

APÉNDICE H

CARACTERÍSTICAS DE FILTROS DE AIRE COMPRIMIDO

| Filter Grade | Description | Filtration* | | | ISO 8573.1 Quality Classes*** | |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----|
| | | Water Droplets** ppm w/w | Solid Particulates micron | Oil Removal ppm w/w | solids | oil |
| | | | | | | |
| A | Water Separator | 30,000 | - | - | - | - |
| B | Separator/Filter | 25,000 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| C | General Purpose | 2,000 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| D | Dry Particulate | - | 1 | - | 2 | - |
| E | High Efficiency Oil Removal | 1,000 | 0.01 | 0.008 | 1 | 1 |
| F | Maximum Efficiency Oil Removal | 100 | 0.01 | 0.0008 | 1 | 1 |
| G | Oil Vapor Removal | - | 0.01 | 0.003 | 1 | 1 |

Fuente: Champion, Compressed air filters, CFF Series

APÉNDICE I

CARACTERÍSTICAS DEL POST ENFRIADOR



Capacity Selection Chart

scfm (for 50 Hz operation multiply scfm by 0.90)

| Inlet Temp. | 150°F 66°C | | | | 200°F 93°C | | | | 250°F 121°C | | | | 300°F 149°C | | | | 350°F 177°C | | | |
|-------------|---------------|---------|---------|----------|---------------|---------|---------|----------|----------------|---------|---------|----------|----------------|---------|---------|----------|----------------|---------|---------|----------|
| | 5 3 | 10 6 | 15 8 | 20 11 | 5 3 | 10 6 | 15 8 | 20 11 | 5 3 | 10 6 | 15 8 | 20 11 | 5 3 | 10 6 | 15 8 | 20 11 | 5 3 | 10 6 | 15 8 | 20 11 |
| ACHV-20 | 17 | 35* | 35* | 35* | 11 | 22 | 35 | 35* | 8 | 16 | 20 | 35 | 6 | 12 | 19 | 26 | 5 | 10 | 15 | 21 |
| ACHV-35 | 29 | 43* | 43* | 43* | 17 | 36 | 43* | 43* | 12 | 27 | 35 | 42* | 10 | 20 | 31 | 42* | 8 | 16 | 26 | 35 |
| ACHV-50 | 43 | 72 | 72* | 72* | 28 | 50 | 70 | 72* | 22 | 35 | 50 | 70 | 18 | 32 | 45 | 57 | 15 | 28 | 39 | 50 |
| ACHV-100 | 95 | 125* | 125* | 125* | 66 | 111 | 125* | 125* | 52 | 88 | 100 | 125* | 44 | 74 | 100 | 125 | 38 | 64 | 86 | 108 |
| ACH-35 | 25 | 42 | 58 | 73 | 18 | 31 | 43 | 53 | 15 | 25 | 35 | 44 | 13 | 22 | 30 | 37 | 11 | 19 | 26 | 32 |
| ACH-50 | 34 | 58 | 79 | 99 | 25 | 43 | 59 | 74 | 21 | 36 | 50 | 62 | 18 | 31 | 42 | 52 | 16 | 27 | 38 | 47 |
| ACH-65 | 42 | 73 | 99 | 125 | 32 | 55 | 77 | 95 | 27 | 47 | 65 | 81 | 24 | 41 | 57 | 71 | 22 | 37 | 52 | 65 |
| ACH-80 | 50 | 87 | 119 | 150 | 40 | 69 | 94 | 117 | 34 | 59 | 80 | 100 | 30 | 52 | 71 | 89 | 28 | 47 | 65 | 82 |
| ACH-100 | 60 | 102 | 140 | 177 | 48 | 81 | 112 | 140 | 43 | 73 | 100 | 124 | 38 | 64 | 87 | 110 | 34 | 59 | 81 | 100 |
| ACH-120 | 81 | 138 | 190 | 235 | 61 | 105 | 142 | 177 | 51 | 87 | 120 | 150 | 43 | 75 | 102 | 127 | 40 | 69 | 94 | 116 |
| ACH-150 | 92 | 160 | 220 | 270 | 73 | 125 | 172 | 215 | 63 | 110 | 150 | 187 | 55 | 95 | 130 | 160 | 50 | 86 | 120 | 148 |
| ACH-240 | 160 | 275 | 380 | 425* | 120 | 207 | 285 | 355 | 100 | 175 | 240 | 300 | 84 | 145 | 204 | 250 | 78 | 135 | 185 | 231 |
| ACH-300 | 184 | 318 | 440 | 480* | 145 | 250 | 345 | 430 | 125 | 217 | 300 | 375 | 110 | 190 | 257 | 320 | 100 | 175 | 240 | 300 |
| ACV-400 | 210 | 384 | 520 | 605 | 175 | 375 | 430 | 500 | 160 | 300 | 400 | 464 | 135 | 250 | 340 | 396 | 125 | 235 | 305 | 355 |
| ACV-725 | 355 | 650 | 890 | 1025 | 308 | 560 | 760 | 880 | 290 | 545 | 725 | 840 | 245 | 450 | 605 | 701 | 225 | 410 | 540 | 625 |
| ACV-950 | 480 | 871 | 1178 | 1360 | 415 | 754 | 1020 | 1180 | 390 | 712 | 950 | 1100 | 320 | 588 | 785 | 910 | 280 | 520 | 690 | 780 |
| ACV-1200 | 600 | 1090 | 1475 | 1710 | 520 | 950 | 1290 | 1460 | 490 | 900 | 1200 | 1380 | 405 | 735 | 980 | 1130 | 355 | 650 | 865 | 990 |
| ACV-1600 | 790 | 1440 | 1950 | 2260 | 710 | 1290 | 1720 | 1950 | 660 | 1200 | 1600 | 1860 | 530 | 965 | 1290 | 1480 | 460 | 840 | 1135 | 1300 |
| ACV-2000 | 980 | 1790 | 2420 | 2800 | 870 | 1580 | 2140 | 2460 | 820 | 1490 | 2000 | 2300 | 660 | 1210 | 1595 | 1840 | 572 | 1040 | 1400 | 1610 |
| ACV-2500 | 1220 | 2220 | 3000 | 3470 | 1090 | 1980 | 2680 | 3100 | 1035 | 1880 | 2500 | 2870 | 784 | 1426 | 1980 | 2270 | 705 | 1290 | 1725 | 1980 |
| ACV-3000 | 1450 | 2650 | 3580 | 4120 | 1295 | 2360 | 3200 | 3710 | 1243 | 2260 | 3000 | 3450 | 985 | 1794 | 2360 | 2715 | 840 | 1530 | 2040 | 2350 |
| ACV-3500 | 1680 | 3064 | 4140 | 4800 | 1530 | 2785 | 3760 | 4320 | 1460 | 2660 | 3500 | 4015 | 1150 | 2090 | 2760 | 3200 | 950 | 1740 | 2350 | 2700 |

Above specifications are based on 80 to 125 psig (5.6 to 8.8 kgf/cm²) operating pressures. Maximum pressure drop, less than 3 psi (0.21 kgf/cm²).

*Maximum ratings restricted by pressure drop, actual thermal capacities are higher.

Maximum operating pressure: 250 psig (17.6 kgf/cm²).

Maximum operating temperature: 350°F (177°C).

Fuente: Hankison, Air-cooled Aftercoolers

APÉNDICE J

DISTANCIAS EQUIVALENTES POR ACCESORIOS Y VÁLVULAS

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

Fuente: Enrique Carnicer, Aire Comprimido

APÉNDICE K

CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN USANDO LA FÓRMULA DE DARCY

La ecuación general del flujo de fluidos, conocida como fórmula de Darcy, es:

$$h_L = \frac{fL v^2}{D 2g_n}$$

De esta fórmula, reemplazando expresiones, se puede deducir la caída de presión:

$$\Delta P = \frac{8f\rho L Q^2}{\pi^2 D^5}$$

Crane da algunas tablas y gráficas para obtener los parámetros necesarios para poder usar la fórmula. De esta manera, se puede establecer el siguiente procedimiento para calcular la caída de presión:

Datos de entrada:

- Flujo volumétrico
- Presión del aire comprimido
- Temperatura del aire comprimido
- Longitud de la tubería
- Diámetro nominal de la tubería

Determinación de datos de entrada según tablas:

- Para determinar la densidad ρ se usa la tabla del Apéndice L. Se debe tener la temperatura y la presión del aire comprimido.
- La tabla del Apéndice M permite determinar el diámetro interior de la tubería de acuerdo al diámetro nominal y la cédula de la misma.
- Con la tabla del Apéndice N, con la información de la temperatura del gas, se puede determinar la viscosidad absoluta (dinámica) en centipoises. Se debe aplicar el factor de conversión correspondiente para llevar el valor a Pa · seg.
- Debido a que la velocidad del gas depende de la presión, el diámetro de la tubería y la densidad, se debe usar el nomograma del Apéndice O para determinar el flujo másico del gas. Notar que el peso específico S_g del aire es 1.

Procedimiento de cálculo:

- Se halla la velocidad del gas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$v = \frac{21220 W}{D^2 \rho}$$

- Con ese valor se puede calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu'}$$

- Una vez calculado el número de Reynolds, se procede a calcular el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Finalmente, con todos los datos calculados, se procede a cuantificar la caída de presión:

$$\Delta P = \frac{8f\rho LQ^2}{\pi^2 D^5}$$

Se debe tener en cuenta que esta fórmula tiene alta aproximación para caídas de presión menores al 10% de la presión de suministro.

APÉNDICE L

TABLA DE DENSIDAD DEL AIRE

| Temp. del aire °C | Densidad del aire en kilogramos por metro cúbico para las presiones manométricas en bar indicadas (Basado en una presión atmosférica de 101325 bar y un peso molecular de 28.97) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 bar | 0.5 bar | 1 bar | 2 bar | 3 bar | 4 bar | 5 bar | 6 bar | 7 bar | 8 bar | 9 bar | 10 bar | 11 bar | 12 bar | 13 bar | 14 bar | 15 bar | 16 bar | 17 bar |
| 0° | 1.293 | 1.930 | 2.568 | 3.844 | 5.12 | 6.39 | 7.67 | 8.95 | 10.22 | 11.50 | 12.77 | 14.04 | 15.32 | 16.60 | 17.88 | 19.16 | 20.44 | 21.72 | 23.00 |
| 5 | 1.269 | 1.896 | 2.522 | 3.775 | 5.03 | 6.28 | 7.53 | 8.78 | 10.04 | 11.29 | 12.54 | 13.80 | 15.05 | 16.30 | 17.55 | 18.81 | 20.06 | 21.31 | 22.56 |
| 10 | 1.247 | 1.862 | 2.477 | 3.708 | 4.93 | 6.17 | 7.40 | 8.63 | 9.86 | 11.09 | 12.32 | 13.55 | 14.78 | 16.01 | 17.24 | 18.47 | 19.71 | 20.94 | 22.17 |
| 15 | 1.225 | 1.830 | 2.435 | 3.644 | 4.85 | 6.06 | 7.27 | 8.48 | 9.69 | 10.90 | 12.11 | 13.32 | 14.53 | 15.74 | 16.95 | 18.15 | 19.36 | 20.57 | 21.78 |
| 20 | 1.204 | 1.799 | 2.393 | 3.581 | 4.77 | 5.96 | 7.16 | 8.34 | 9.52 | 10.71 | 11.90 | 13.09 | 14.28 | 15.47 | 16.66 | 17.84 | 19.03 | 20.22 | 21.41 |
| 25 | 1.184 | 1.768 | 2.353 | 3.522 | 4.69 | 5.86 | 7.03 | 8.20 | 9.37 | 10.53 | 11.70 | 12.87 | 14.04 | 15.21 | 16.38 | 17.55 | 18.71 | 19.88 | 21.05 |
| 30 | 1.165 | 1.739 | 2.314 | 3.463 | 4.61 | 5.76 | 6.91 | 8.06 | 9.21 | 10.36 | 11.51 | 12.66 | 13.81 | 14.96 | 16.11 | 17.26 | 18.41 | 19.56 | 20.70 |
| 35 | 1.146 | 1.711 | 2.277 | 3.407 | 4.54 | 5.67 | 6.80 | 7.93 | 9.06 | 10.19 | 11.32 | 12.45 | 13.58 | 14.72 | 15.85 | 16.98 | 18.11 | 19.24 | 20.37 |
| 40 | 1.127 | 1.684 | 2.240 | 3.353 | 4.47 | 5.58 | 6.69 | 7.80 | 8.92 | 10.03 | 11.14 | 12.25 | 13.37 | 14.48 | 15.59 | 16.71 | 17.82 | 18.93 | 20.04 |
| 50 | 1.093 | 1.632 | 2.171 | 3.249 | 4.33 | 5.41 | 6.48 | 7.56 | 8.64 | 9.72 | 10.80 | 11.88 | 12.95 | 14.03 | 15.11 | 16.19 | 17.27 | 18.35 | 19.42 |
| 60 | 1.060 | 1.583 | 2.106 | 3.152 | 4.20 | 5.24 | 6.28 | 7.33 | 8.38 | 9.43 | 10.47 | 11.52 | 12.56 | 13.61 | 14.66 | 15.70 | 16.75 | 17.79 | 18.84 |
| 70 | 1.028 | 1.537 | 2.044 | 3.060 | 4.08 | 5.09 | 6.11 | 7.12 | 8.14 | 9.16 | 10.17 | 11.18 | 12.20 | 13.21 | 14.23 | 15.24 | 16.25 | 17.26 | 18.29 |
| 80 | 1.0 | 1.493 | 1.986 | 2.973 | 3.960 | 4.95 | 5.93 | 6.92 | 7.91 | 8.90 | 9.89 | 10.88 | 11.87 | 12.86 | 13.85 | 14.84 | 15.83 | 16.82 | 17.81 |
| 90 | 0.972 | 1.452 | 1.932 | 2.891 | 3.851 | 4.81 | 5.77 | 6.73 | 7.69 | 8.65 | 9.61 | 10.57 | 11.53 | 12.49 | 13.45 | 14.41 | 15.36 | 16.32 | 17.28 |
| 100 | 0.946 | 1.413 | 1.880 | 2.814 | 3.748 | 4.68 | 5.62 | 6.56 | 7.49 | 8.42 | 9.36 | 10.29 | 11.22 | 12.15 | 13.08 | 14.02 | 14.95 | 15.88 | 16.82 |
| 120 | 0.898 | 1.342 | 1.784 | 2.671 | 3.557 | 4.44 | 5.33 | 6.21 | 7.10 | 7.98 | 8.87 | 9.76 | 10.65 | 11.53 | 12.42 | 13.31 | 14.19 | 15.08 | 15.97 |
| 140 | 0.855 | 1.276 | 1.698 | 2.541 | 3.385 | 4.23 | 5.07 | 5.91 | 6.76 | 7.60 | 8.45 | 9.29 | 10.13 | 10.97 | 11.82 | 12.66 | 13.51 | 14.36 | 15.19 |
| 160 | 0.815 | 1.217 | 1.620 | 2.424 | 3.229 | 4.03 | 4.84 | 5.64 | 6.46 | 7.26 | 8.08 | 8.89 | 9.70 | 10.51 | 11.32 | 12.13 | 12.94 | 13.75 | 14.56 |
| 180 | 0.779 | 1.164 | 1.548 | 2.317 | 3.086 | 3.855 | 4.62 | 5.39 | 6.16 | 6.93 | 7.70 | 8.47 | 9.24 | 10.01 | 10.77 | 11.54 | 12.31 | 13.08 | 13.85 |
| 200 | 0.746 | 1.114 | 1.483 | 2.219 | 2.955 | 3.692 | 4.43 | 5.18 | 5.93 | 6.68 | 7.43 | 8.18 | 8.93 | 9.68 | 10.43 | 11.18 | 11.93 | 12.68 | 13.43 |
| 220 | 0.716 | 1.069 | 1.423 | 2.129 | 2.836 | 3.542 | 4.26 | 4.98 | 5.70 | 6.42 | 7.14 | 7.86 | 8.58 | 9.30 | 10.02 | 10.74 | 11.46 | 12.18 | 12.90 |
| 240 | 0.688 | 1.027 | 1.367 | 2.046 | 2.725 | 3.404 | 4.10 | 4.79 | 5.48 | 6.17 | 6.86 | 7.55 | 8.24 | 8.93 | 9.62 | 10.31 | 11.00 | 11.69 | 12.38 |
| 260 | 0.662 | 0.989 | 1.316 | 1.969 | 2.623 | 3.277 | 3.950 | 4.60 | 5.24 | 5.89 | 6.54 | 7.20 | 7.85 | 8.51 | 9.16 | 9.81 | 10.47 | 11.12 | 11.77 |
| 280 | 0.638 | 0.953 | 1.268 | 1.898 | 2.528 | 3.158 | 3.798 | 4.42 | 5.05 | 5.68 | 6.31 | 6.94 | 7.57 | 8.20 | 8.83 | 9.46 | 10.09 | 10.72 | 11.35 |
| 300 | 0.616 | 0.920 | 1.224 | 1.832 | 2.440 | 3.048 | 3.660 | 4.27 | 4.87 | 5.48 | 6.09 | 6.70 | 7.30 | 7.91 | 8.52 | 9.13 | 9.74 | 10.34 | 10.95 |
| | 18 bar | 19 bar | 20 bar | 30 bar | 40 bar | 50 bar | 60 bar | 70 bar | 80 bar | | | | | | | | | | |
| 0° | 24.25 | 25.53 | 26.81 | 39.6 | 52.3 | 65.1 | 77.8 | 90.6 | 103.3 | | | | | | | | | | |
| 5 | 23.82 | 25.07 | 26.32 | 38.8 | 51.4 | 63.9 | 76.4 | 88.9 | 101.5 | | | | | | | | | | |
| 10 | 23.40 | 24.63 | 25.86 | 38.2 | 50.5 | 62.8 | 75.1 | 87.4 | 99.7 | | | | | | | | | | |
| 15 | 22.99 | 24.20 | 25.41 | 37.5 | 49.6 | 61.7 | 73.8 | 85.9 | 98.0 | | | | | | | | | | |
| 20 | 22.56 | 23.79 | 24.98 | 36.9 | 48.7 | 60.6 | 72.5 | 84.4 | 96.3 | | | | | | | | | | |
| 25 | 22.22 | 23.39 | 24.56 | 36.2 | 47.9 | 59.6 | 71.3 | 83.0 | 94.7 | | | | | | | | | | |
| 30 | 21.85 | 23.00 | 24.15 | 35.6 | 47.1 | 58.6 | 70.1 | 81.6 | 93.1 | | | | | | | | | | |
| 35 | 21.50 | 22.63 | 23.76 | 35.1 | 46.4 | 57.7 | 69.0 | 80.3 | 91.6 | | | | | | | | | | |
| 40 | 21.16 | 22.27 | 23.38 | 34.5 | 45.6 | 56.8 | 67.9 | 78.9 | 90.1 | | | | | | | | | | |
| 50 | 20.50 | 21.58 | 22.66 | 33.4 | 44.2 | 55.0 | 66.0 | 76.9 | 87.4 | | | | | | | | | | |
| 60 | 19.88 | 20.93 | 21.98 | 32.4 | 42.9 | 53.4 | 64.3 | 74.9 | 84.7 | | | | | | | | | | |
| 70 | 19.31 | 20.32 | 21.34 | 31.5 | 41.6 | 51.8 | 62.1 | 72.1 | 82.3 | | | | | | | | | | |
| 80 | 18.76 | 19.75 | 20.73 | 30.6 | 40.5 | 50.3 | 60.2 | 70.1 | 79.9 | | | | | | | | | | |
| 90 | 18.24 | 19.20 | 20.16 | 29.76 | 39.4 | 48.9 | 58.5 | 68.1 | 77.7 | | | | | | | | | | |
| 100 | 17.75 | 18.69 | 19.62 | 28.96 | 38.3 | 47.6 | 57.0 | 66.3 | 75.6 | | | | | | | | | | |
| 120 | 16.85 | 17.74 | 18.62 | 27.49 | 36.4 | 45.2 | 54.1 | 62.9 | 71.8 | | | | | | | | | | |
| 140 | 16.04 | 16.88 | 17.72 | 26.17 | 34.6 | 43.0 | 51.5 | 59.8 | 68.3 | | | | | | | | | | |
| 160 | 15.30 | 16.10 | 16.91 | 24.95 | 33.0 | 41.0 | 49.1 | 57.1 | 65.2 | | | | | | | | | | |
| 180 | 14.62 | 15.34 | 16.16 | 23.85 | 31.5 | 39.2 | 46.8 | 54.6 | 62.3 | | | | | | | | | | |
| 200 | 14.00 | 14.74 | 15.47 | 22.84 | 30.2 | 37.6 | 44.8 | 52.3 | 59.7 | | | | | | | | | | |
| 220 | 13.43 | 14.14 | 14.85 | 21.91 | 28.98 | 36.0 | 43.1 | 50.2 | 57.2 | | | | | | | | | | |
| 240 | 12.91 | 13.59 | 14.27 | 21.06 | 27.85 | 34.6 | 41.4 | 48.2 | 55.0 | | | | | | | | | | |
| 260 | 12.43 | 13.08 | 13.73 | 20.27 | 26.81 | 33.3 | 40.0 | 46.4 | 53.0 | | | | | | | | | | |
| 280 | 11.98 | 12.61 | 13.24 | 19.54 | 25.83 | 32.1 | 38.4 | 44.7 | 51.0 | | | | | | | | | | |
| 300 | 11.56 | 12.17 | 12.78 | 18.86 | 24.94 | 31.0 | 37.1 | 43.2 | 49.3 | | | | | | | | | | |

Tabla de densidades del aire

Las tablas A-9a se han calculado según la ley de los gases perfectos dada antes. La corrección debida a la supercompresibilidad, desviación de la ley de los gases perfectos, sería un valor inferior al 3% y no se ha tenido en cuenta.

La densidad de otros gases puede determinarse a partir de estas tablas, multiplicando la densidad del aire por el peso específico del gas, con relación al aire, dado en las tablas A-7.

Fuente: Crane, Flujo de Fluidos

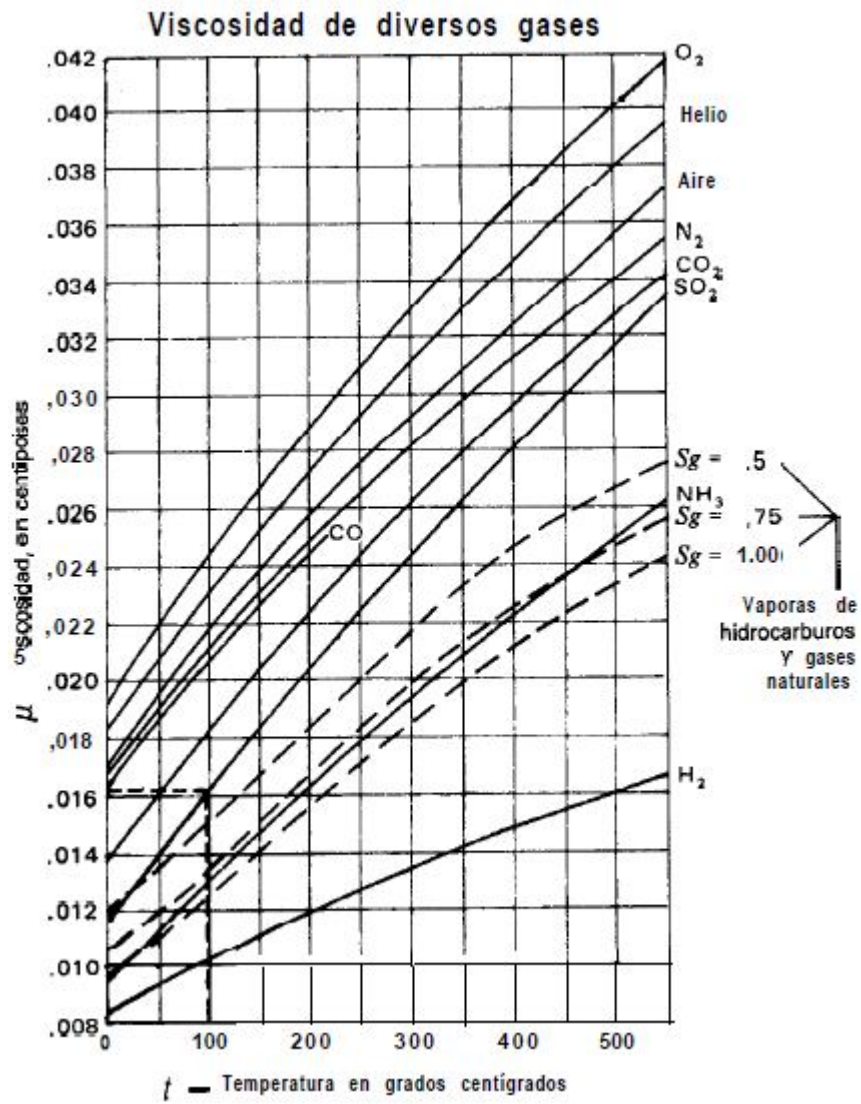
APÉNDICE M

DIMENSIONES DE TUBERÍAS COMERCIALES DE ACERO

| | Medida nominal de la tubería | Diámetro exterior | Espesor | Diámetro interior | Medida nominal de la tubería | Diámetro exterior | Espesor | Diámetro interior | | |
|-----------|------------------------------|-------------------|---------|-------------------|------------------------------|-------------------|---------|-------------------|-------|------|
| | pulgadas | mm | mm | mm | pulgadas | mm | mm | mm | | |
| Cédula 10 | 14 | 355.6 | 6.35 | 342.9 | Cédula 80 (continuación) | 3½ | 101.6 | 8.08 | 85.4 | |
| | 16 | 406.4 | 6.35 | 393.7 | | 4 | 114.3 | 8.56 | 97.2 | |
| | 18 | 457.2 | 6.35 | 444.5 | | 5 | 141.3 | 9.52 | 122.3 | |
| | 20 | 508.0 | 6.35 | 495.3 | | 6 | 168.3 | 10.97 | 146.4 | |
| | 24 | 609.6 | 6.35 | 596.9 | | 8 | 219.1 | 12.70 | 193.7 | |
| Cédula 20 | 30 | 762.0 | 7.92 | 746.2 | 10 | 273.0 | 15.09 | 242.8 | | |
| | 8 | 219.1 | 6.35 | 206.4 | 12 | 323.9 | 17.47 | 289.0 | | |
| | 10 | 273.0 | 6.35 | 260.3 | 14 | 355.6 | 19.05 | 317.5 | | |
| | 12 | 323.9 | 6.35 | 311.2 | 16 | 406.4 | 21.44 | 363.5 | | |
| | 14 | 355.6 | 7.92 | 339.8 | 18 | 457.2 | 23.82 | 409.6 | | |
| | 16 | 406.4 | 7.92 | 390.6 | 20 | 508.0 | 26.19 | 455.6 | | |
| | 18 | 457.2 | 7.92 | 441.4 | 24 | 609.6 | 30.96 | 547.7 | | |
| | 20 | 508.0 | 9.52 | 489.0 | Cédula 100 | 8 | 219.1 | 15.09 | 188.9 | |
| 24 | 609.6 | 9.52 | 590.6 | 10 | | 273.0 | 18.26 | 236.5 | | |
| 30 | 762.0 | 12.70 | 736.6 | 12 | | 323.9 | 21.44 | 281.0 | | |
| 8 | 219.1 | 7.04 | 205.0 | 14 | | 355.6 | 23.82 | 308.0 | | |
| 10 | 273.0 | 7.80 | 25 7.4 | 16 | | 406.4 | 26.19 | 354.0 | | |
| 12 | 323.9 | 8.38 | 307.1 | 18 | | 457.2 | 29.36 | 398.5 | | |
| Cédula 30 | 14 | 355.6 | 9.52 | 336.6 | 20 | 508.0 | 32.54 | 442.9 | | |
| | 16 | 406.4 | 9.52 | 387.4 | 24 | 609.6 | 38.89 | 531.8 | | |
| | 18 | 457.2 | 11.13 | 434.9 | Cédula 120 | 4 | 114.3 | 11.13 | 92.0 | |
| | 20 | 508.0 | 12.70 | 482.6 | | 5 | 141.3 | 12.70 | 115.9 | |
| | 24 | 609.6 | 14.27 | 581.1 | | 6 | 168.3 | 14.27 | 139.8 | |
| | 30 | 762.0 | 15.88 | 730.2 | | 8 | 219.1 | 18.26 | 182.6 | |
| 1/8 | 10.3 | 1.73 | 6.8 | 10 | | 273.0 | 21.44 | 230.1 | | |
| 3/4 | 13.7 | 2.24 | 9.2 | 12 | | 323.9 | 25.40 | 273.1 | | |
| Cédula 40 | 3/8 | 17.1 | 2.31 | 12.5 | 14 | 355.6 | 27.79 | 300.0 | | |
| | 1/2 | 21.3 | 2.77 | 15.8 | 16 | 406.4 | 30.96 | 344.5 | | |
| | 5/8 | 26.7 | 2.87 | 21.0 | 18 | 457.2 | 34.92 | 387.4 | | |
| | 3/4 | 33.4 | 3.38 | 26.6 | 20 | 508.0 | 38.10 | 431.8 | | |
| | 1 | 42.2 | 3.56 | 35.1 | 24 | 609.6 | 46.02 | 517.6 | | |
| | 1 1/8 | 48.3 | 3.68 | 40.9 | Cédula 140 | 8 | 219.1 | 20.62 | 177.9 | |
| | 1 1/4 | 60.3 | 3.91 | 52.5 | | 10 | 273.0 | 25.40 | 222.2 | |
| | 1 1/2 | 73.0 | 5.16 | 62.7 | | 12 | 323.9 | 28.58 | 266.7 | |
| | 1 3/4 | 88.9 | 5.49 | 77.9 | | 14 | 355.6 | 31.75 | 292.1 | |
| | 2 | 101.6 | 5.74 | 90.1 | | 16 | 406.4 | 36.52 | 333.4 | |
| | 2 1/2 | 114.3 | 6.02 | 102.3 | | 18 | 457.2 | 39.69 | 377.8 | |
| | Cédula 60 | 3 | 141.3 | 6.55 | 128.2 | 20 | 508.0 | 44.45 | 419.1 | |
| | | 4 | 168.3 | 7.11 | 154.1 | 24 | 609.6 | 52.39 | 504.8 | |
| | | 8 | 219.1 | 8.18 | 202.7 | Cédula 160 | 1/2 | 21.3 | 4.78 | 11.7 |
| | | 10 | 273.0 | 9.27 | 254.5 | | 3/4 | 26.7 | 5.56 | 15.6 |
| | | 12 | 323.9 | 10.31 | 303.3 | | 1 | 33.4 | 6.35 | 20.7 |
| 14 | | 355.6 | 11.13 | 333.3 | 1 1/4 | | 42.2 | 6.35 | 29.5 | |
| 16 | | 406.4 | 12.70 | 381.0 | 1 1/2 | | 48.3 | 7.14 | 34.0 | |
| 18 | | 457.2 | 14.27 | 428.7 | 2 | | 60.3 | 8.74 | 42.8 | |
| 20 | | 508.0 | 15.09 | 477.8 | 2 1/2 | | 73.0 | 9.52 | 54.0 | |
| 24 | | 609.6 | 17.48 | 574.6 | 3 | | 88.9 | 11.13 | 66.6 | |
| 8 | 219.1 | 10.31 | 198.5 | 4 | 114.3 | | 13.49 | 87.3 | | |
| 10 | 273.0 | 12.70 | 247.6 | 5 | 141.3 | | 15.88 | 109.5 | | |
| Cédula 80 | 12 | 323.9 | 14.27 | 295.4 | 6 | 168.3 | 18.26 | 131.8 | | |
| | 14 | 355.6 | 15.09 | 325.4 | 8 | 219.1 | 23.01 | 173.1 | | |
| | 16 | 406.4 | 16.64 | 373.1 | 10 | 273.0 | 28.58 | 215.8 | | |
| | 18 | 457.2 | 19.05 | 419.1 | 12 | 323.9 | 33.34 | 257.2 | | |
| | 20 | 508.0 | 20.62 | 466.8 | 14 | 355.6 | 35.71 | 284.2 | | |
| | 24 | 609.6 | 24.61 | 560.4 | 16 | 406.4 | 40.49 | 325.4 | | |
| | 1/8 | 10.3 | 2.41 | 5.5 | 18 | 457.2 | 45.24 | 366.7 | | |
| | 1/4 | 13.7 | 3.02 | 7.7 | 20 | 508.0 | 50.01 | 408.0 | | |
| | 3/8 | 17.1 | 3.20 | 10.7 | 24 | 609.6 | 59.54 | 490.5 | | |
| | 1/2 | 21.3 | 3.73 | 13.8 | | | | | | |
| 5/8 | 26.7 | 3.91 | 18.9 | | | | | | | |
| 3/4 | 33.4 | 4.55 | 24.3 | | | | | | | |
| 1 | 42.2 | 4.85 | 32.5 | | | | | | | |
| 1 1/2 | 48.3 | 5.08 | 38.1 | | | | | | | |
| 2 | 60.3 | 5.54 | 49.2 | | | | | | | |
| 2 1/2 | 73.0 | 7.01 | 59.0 | | | | | | | |
| 3 | 88.9 | 7.62 | 73.7 | | | | | | | |

Fuente: Crane, Flujo de Flúidos

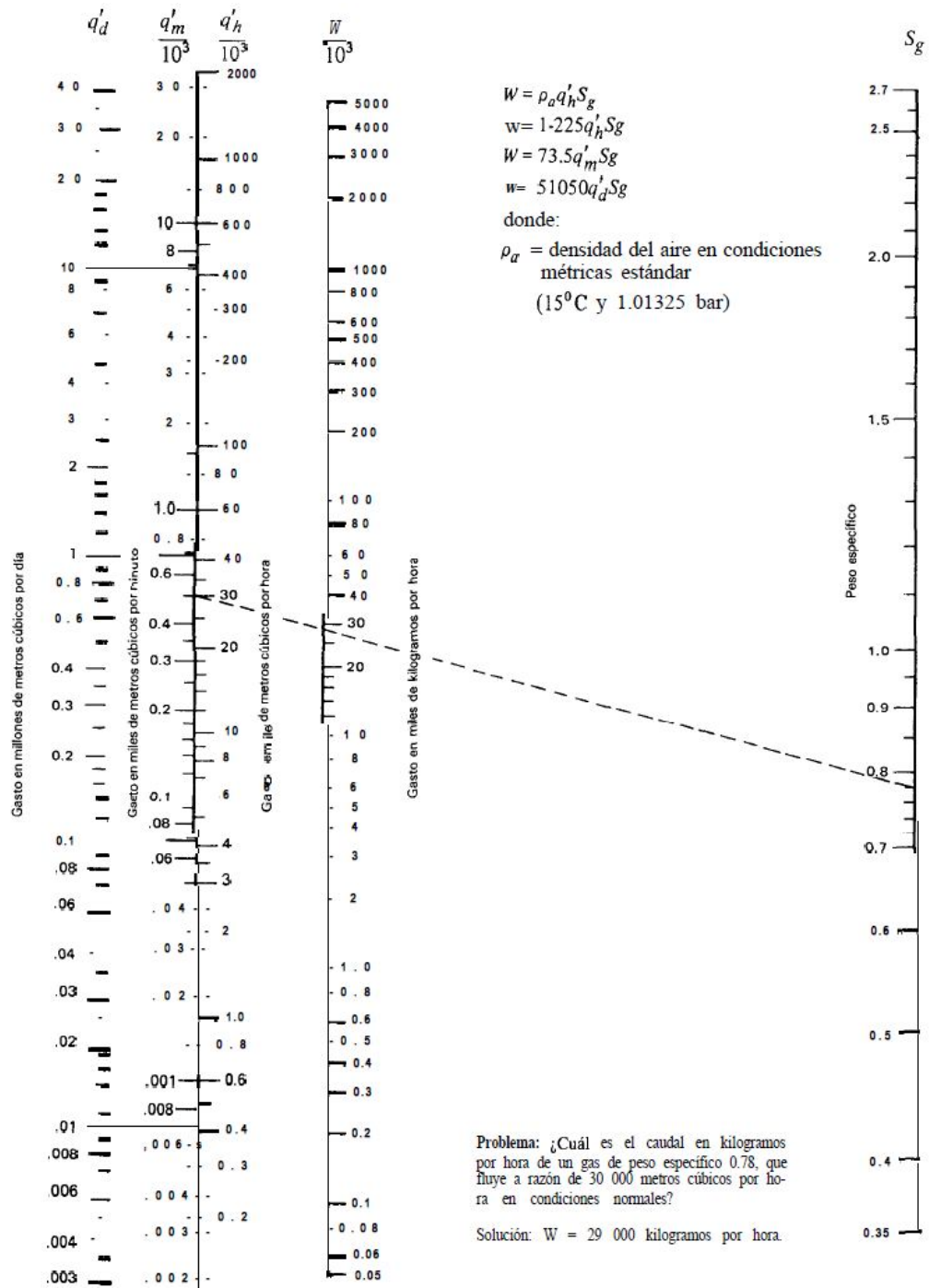
APÉNDICE N
VISCOSIDAD DE DIVERSOS GASES



Fuente: Crane, Flujo de Fluidos

APÉNDICE O

CAUDAL DE MASA DE FLUÍDOS COMPRESIBLES



Fuente: Crane, Flujo de Fluidos

APÉNDICE P

DRENADOR MECÁNICO



17-016

Drip Leg Drain
1/2" Port Size

- Automatically expels liquids from the piping network
- Can be disassembled without the use of tools or removal from the air line
- Automatic drain valve opens when system is unpressurized, allowing water to escape by gravity
- Automatic drain valve is float operated when system is pressurized
- Install at low points and at far end of piping network

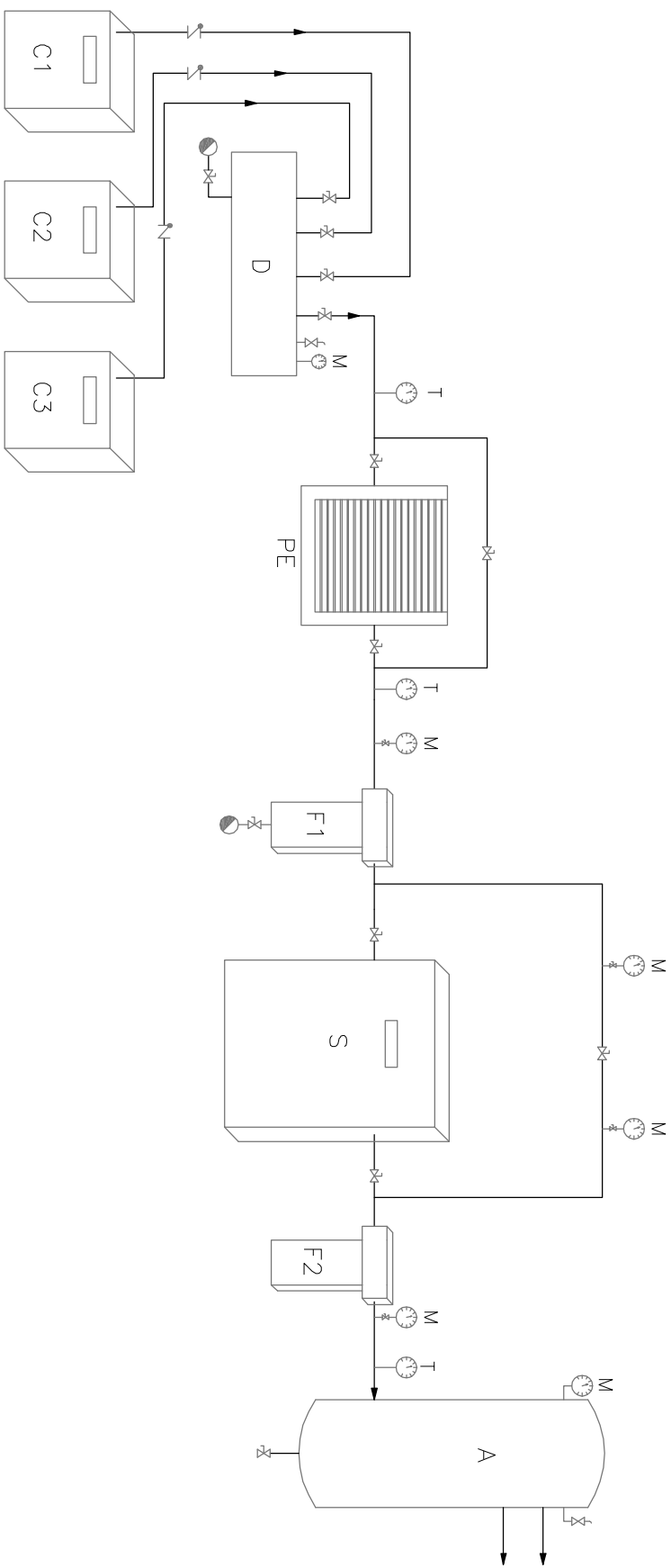


Ordering Information.

| Port Size | Bowl Type | Bowl Size | Model Number | Weight lbs (kg) |
|-----------|------------------------|----------------------------|--------------|-----------------|
| 1/2" PTF | Transparent | 1/3 pint (0.16 liter) | 17-016-104 | 0.8 (0.38) |
| 1/2" PTF | Metal with sight glass | 1/3 pint (0.16 liter) | 17-016-107 | 1.3 (0.59) |
| 1/2" PTF | Transparent | 3 fluid ounce (0.09 liter) | 17-016-102 | 0.8 (0.38) |

Fuente: Norgren, Catálogo de filtros para aire comprimido

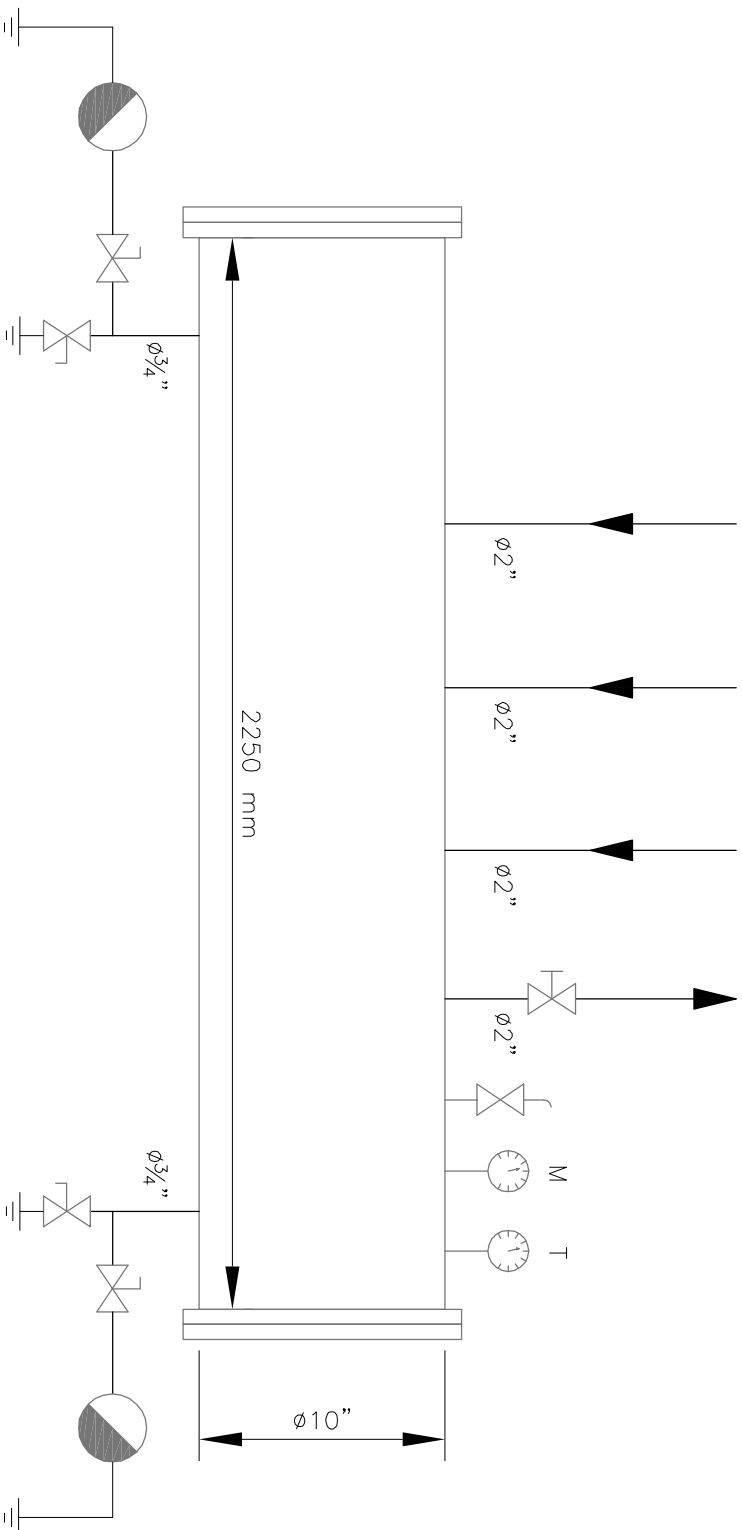
PLANOS



- C: Compresores
- D: Distribuidor
- PE: Post enfriador
- A: Acumulador
- F1: Filtro separador de agua
- S: Secador
- F2: Filtro de aceite
- T: Termómetro
- M: Manómetro

- Drenador de líquido
- ⊘ Válvula de compuerta
- N Válvula de retención
- ⊕ Válvula de seguridad
- ⊗ Válvula de bola

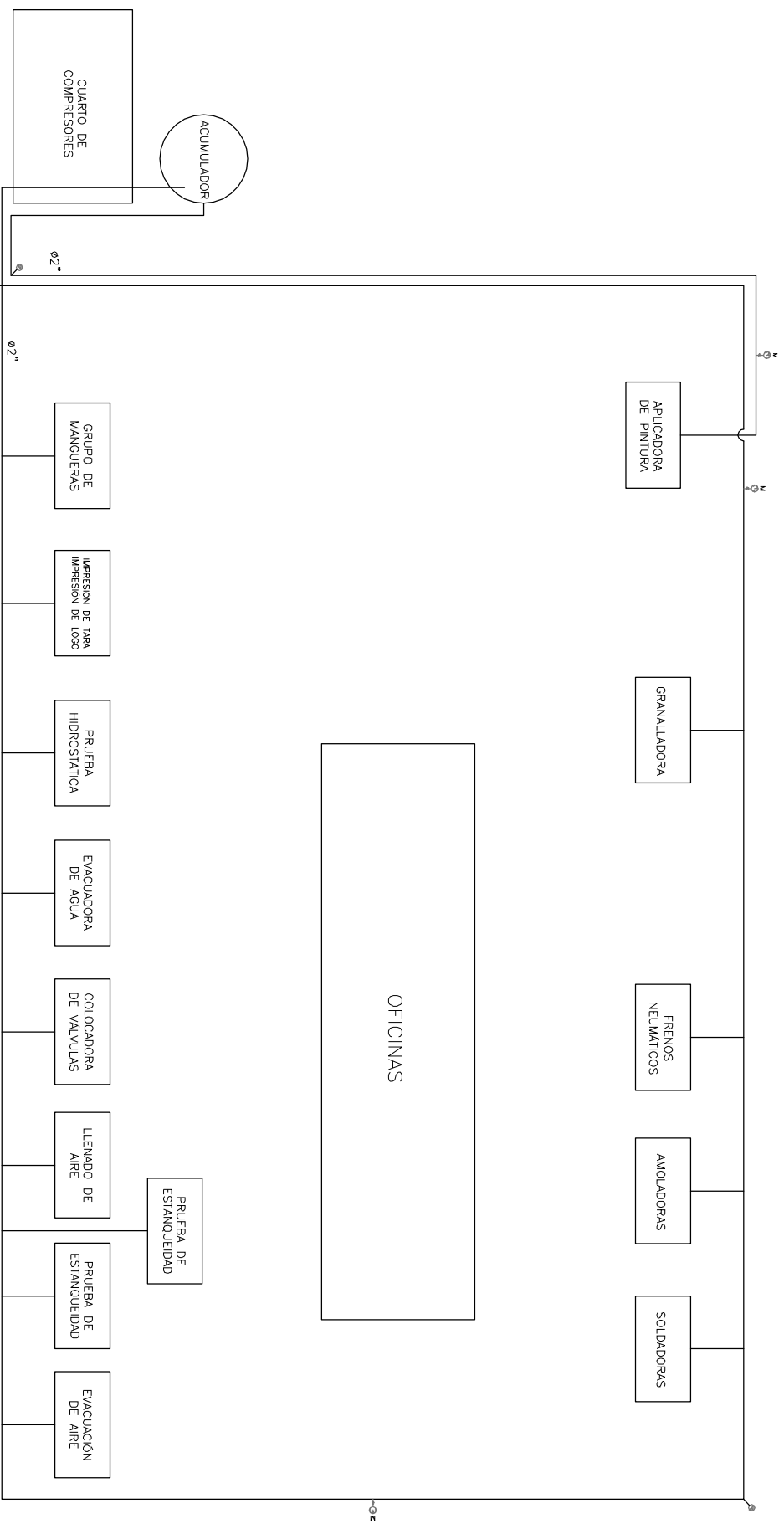
| | | | |
|---|--------------------|-----------------------|--|
| PROYECTO: MEJORAS EN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO | | FIMMCP - ESPOL | |
| ESCALA: | S/E | CONTIENE: | Diagrama de Generación y Tratamiento de aire |
| DETALLE: | INSTALACIÓN ACTUAL | PLANO No: | 1 |
| Dibujó: | Ago/13 | FECHA: | |
| Revisó: | Ene/14 | NOMBRE: | J. Hara |
| | | | Ing. Martínez |



| | | |
|---------|----------|---------------------------------|
| ⊕ | 1 | Termómetro 0-100°C |
| M | 1 | Manómetro 0-300 psi |
| ⊕ | 1 | Válvula de seguridad de 150 psi |
| ⊕ | 4 | Válvula de bola de 1/2" |
| ⊕ | 2 | Drenador de condensado |
| SÍMBOLO | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |

LISTA DE MATERIALES

| | | | |
|--|--|----------------------|---------------|
| FIMCIP - ESPOL | | FECHA | NOMBRE |
| MEJORAS EN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO | | Dibujó: Ago/13 | J. Héro |
| PROYECTO: | | Revisó: Ene/14 | Ing. Martínez |
| ESCALA: | | PLANO No: | |
| S/E | | CONTENIDO: | |
| DETALLE: | | Distribuidor de Aire | |
| INSTALACIÓN RECOMENDADA | | 2 | |



| | | | |
|--|--|--|--|
| PROYECTO: MEJORAS EN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO | | PLANO No: | |
| ESCALA: S/E | | CONTIENE: Red de aire en planta de Mantenimiento de cilindros | |
| DETALLE: INSTALACIÓN ACTUAL | | FECHA: Diseñó: Ago/13 Revisó: Ene/14 | |
| | | NOMBRE: J. Héro Ing. Martínez | |

3

BIBLIOGRAFÍA

1. NTE INEN 327:2011, Revisión de cilindros de acero para gas licuado de petróleo, Primera Edición, Tercera Revisión, 2011.
2. NTE INEN 111:1998, Cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo "GLP". Requisitos e Inspección, Primera Edición, Quinta Revisión, 1998.
3. NTE INEN 2143:98, Cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo. Requisitos de Fabricación, Primero Edición, 1998
4. CHAMPION, ROTORCHAMP 5-50 HP, Bulletin C13-8-218, Third Edition, 2002
5. CHAMPION, CENTURION II 5-15 HP, Bulletin CR-RV-102, Second Edition, 2009

6. CHAMPION, ROTORCHAMP Stationary Base-Mounted Compressor – Operating and Service Manual, Bulletin 13-9-658, First Edition, 2003
7. CHAMPION, Compressed Air Filters 20 – 21250 cfm, Bulletin CA-CFF-100, Third Edition, 2010
8. ENRIQUE CARNICER ROYO, Aire Comprimido: Teoría y Cálculo de las instalaciones, Editorial Paraninfo, 1991
9. COMPRESSED AIR CHALLENGE, Improving Compressed Air System Performance: A sourcebook for industry, 2003
10. NORGREN, La guía Norgren para el tratamiento del aire, 2002
11. ARMSTRONG, Draining liquids from Compressed Air and other gases, Handbook 402-C, 1998
12. PARKER, Introduction to ISO Air Quality Standards, Catalogue 174004400_01_EN, 04/10
13. KAESER, Técnica de aire comprimido, 2009, Kaeser Kompressoren GmbH

14. ASPE (AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS), Volume 3, Special Plumbing Systems, 2001
15. CRANE, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, McGraw-Hill, 1982
16. SEAS, Estudios Superiores Abiertos, Neumática - Actuadores neumáticos
17. VARGAS ADOLFO, "Adaptación tecnológica de una máquina recuperadora de GLP residual en tanques domésticos – Aplicación del modelo de dispersion" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009)