

Universidad Internacional de las Américas

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería
Electromecánica

Aprovechamiento y eficiencia en la utilización de los recursos del sistema de generación de aire comprimido en una industria manufacturera de productos de PVC

Autor:

Ing. Jonathan Valverde Ramírez.

Tutor:

Lic. Carlos Calderón Borge

Lector:

Lic. Gilbert Mora Jiménez

San José, Costa Rica

Tabla de contenido

Agradecimiento.....	2
Dedicatoria.....	2
Tabla de contenido.....	7
Índice de figuras.....	11
Glosario de términos técnicos.....	12
Resumen.....	14
Capítulo 1: Introducción.....	15
Planteamiento del problema.....	16
Objetivos generales.....	16
Objetivos específicos.....	16
Justificación.....	17
Proyecciones.....	18
Capítulo 2: Marco referencial.....	19
Limitaciones.....	20
Antecedentes.....	21
Capítulo 3: Marco teórico.....	25
Generalidades.....	26
Teoría básica de los compresores de aire.....	27
Compresores.....	33
Compresores volumétricos.....	34
Compresor de émbolo.....	34
Compresor de émbolo de una etapa.....	34
Compresor de émbolo de dos etapas.....	34
Compresor de émbolo de diafragma.....	35
Compresores rotativos.....	36
Compresor rotativo de paletas deslizantes.....	36
Compresor rotativo de tornillo.....	36
Compresores rotativos tipo lóbulos.....	37
Compresores dinámicos.....	39
Turbo compresor radial.....	39
Compresor de flujo axial.....	40
Usos del aire comprimido.....	40

Unidades de tratamiento de aire comprimido	41
Secadores de aire	41
Secadores frigoríficos	42
Tipos de secadores frigoríficos.....	42
Principio de funcionamiento de un secador frigorífico.....	43
Secado por absorción	44
Secado por adsorción.....	45
Secador de membrana	46
Calidad del aire.....	48
Tratamientos del aire	50
La filtración en las líneas de aire comprimido.....	52
Prefiltros.....	52
Filtros intermedios	52
Filtros finales	53
Tanques de almacenamiento (calderín) y depósitos auxiliares.....	55
Depósito auxiliar de aire	56
Capacidad de los depósitos.....	56
Distribución de aire comprimido	58
Tipos de sistema de distribución.....	60
Sistema ramificado.....	61
Sistema en anillo	61
Red cerrada	62
Red de aire comprimido con secador instalado a la salida del compresor, red en circuito cerrado o abierto.....	62
Red de aire comprimido sin secador, red en circuito abierto.....	63
Dimensión de tuberías.....	64
Pérdidas por caídas de presión	65
Pérdidas por fugas.....	69
Presión de trabajo	69
Futuras ampliaciones	70
Caudales	70
Ahorro de energía	71
Tipos de diagnóstico energéticos.....	73

Clasificación de diagnósticos de energía.....	73
Metodología para realizar un diagnóstico energético	75
Equipos de medición	78
Evaluación del estado energético	83
Determinación del potencial de ahorro	83
Evaluación económica de las medidas de ahorro	84
Evaluación económica.....	84
Selección de las medidas por implementar	84
Aplicación de las acciones	85
Capítulo 4: Marco metodológico.....	86
Enfoque de la investigación	87
Método de la investigación	87
Fuentes de información	88
Variables o unidades de análisis	88
Indicadores financieros	89
Costos de inversión:	90
Instrumentos	90
Proceso para la recolección y el análisis de datos	90
Diagnóstico.....	91
Red de aire comprimido de la planta de inyección.....	92
Isométrico de la red de aire comprimido de la planta de inyección.....	93
Descripción del cuarto de compresores en inyección:	93
Descripción de la red de inyección:.....	94
Requerimientos de consumo teórico de aire comprimido, sector inyección:.....	95
Red de aire comprimido de la planta de extrusión.....	95
Isométrico de la red de aire comprimido de la planta de extrusión.....	96
Descripción del cuarto de compresores de extrusión:.....	96
Descripción de la red en extrusión:.....	97
Requerimientos de consumo teórico de aire comprimido sector extrusión:	98
Fugas	98
Caudal de los compresores	99
Capítulo 5: Análisis de resultados	101
Propuesta 1	102

RED de la planta 2019 unificado en un solo anillo	102
Análisis económico de la propuesta 1.....	103
Estimación de ahorro solo por energía dejando por fuera el beneficio del ahorro por mantenimiento.....	104
Propuesta 2	105
Análisis económico de la propuesta 2.....	108
Propuesta 3	109
Cálculo de pérdidas con el método de aire libre contenido en los tanques acumuladores ...	110
Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas con la cámara acústica Fluke ii900, utilizando los valores teóricos de SCFM de los compresores.....	112
Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas con la cámara acústica Fluke ii900, utilizando los valores reales del estudio de eficiencia de los compresores.....	113
Análisis económico de la propuesta 3.....	115
Propuesta 4	117
Configuración compresores Extrusión 2017	119
Configuración de compresores con el controlador de flujo.....	119
Análisis económico de la propuesta 4.....	122
Propuesta 5	123
Análisis económico de la propuesta 5.....	123
Propuesta 6	123
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	126
Conclusión 1	127
Conclusión 2	127
Conclusión 3	127
Conclusión 4	127
Conclusión 5	128
Conclusión 6	129
Recomendaciones	129
BIBLIOGRAFIA.....	131
ANEXOS	133

Índice de figuras

Figura 1 Concepto de presión atmosférica y presiones absolutas	29
Figura 2 Escala de temperatura.....	30
Figura 3 Comportamiento de los gases.	31
Figura 4 Gases en función a la presión	32
Figura 5 Clasificación de los compresores	33
Figura 6 Compresor de émbolo de una sola etapa.	34
Figura 7 Compresor de pistón en V.	35
Figura 8 Compresor de diafragma	35
Figura 9 Compresor de paletas deslizantes	36
Figura 10 Diagrama de funcionamiento de compresor de tornillo.	37
Figura 11 Compresor tipo lóbulos.	38
Figura 12 Turbo compresor radial.	39
Figura 13 Compresor de flujo axial.....	40
Figura 14 Principio de funcionamiento típico de los secadores frigoríficos de expansión directa.....	43
Figura 15 Secado por absorción.	45
Figura 16 Secador por adsorción	46
Figura 17 Funcionamiento del módulo del secador de membranas	47
Figura 18 Partículas suspendidas en el aire atmosférico.	48
Figura 19 Fuente Festo	49
Figura 20 conjunto de Filtros, “marca: Kaeser”	54
Figura 21 Toma de aire de bajante en tuberías secundarias.....	60
Figura 22 Red de distribución cerrada.....	63
Figura 23 Diseño de una red de aire comprimido con tratamiento convencional en circuito abierto.	64
Figura 24 Nomograma para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías.....	68
Figura 25: RED aire Durman 2017.....	92
Figura 26: Isométrico de la red de aire comprimido de la planta inyección.....	93
Figura 27: Isométrico de la red de aire comprimido de la planta Extrusión.....	96
Figura 28: Red de la planta 2019 unificada en un solo anillo	102
Figura 29: Configuración compresores Extrusión 2017	119
Figura 30: Configuración compresores con el controlador de flujo.....	119
Figura 31 Configuración compresores con 3 acumuladores.....	125

Glosario de términos técnicos

PVC: Préstamo del inglés PVC, siglas de p(oly)v(inyl) c(hloride), que en español significan “policloruro de vinilo”

CFM: Pies cúbicos por minuto, en inglés *Cubic Feet per Minute*, siglas (CFM). Es una unidad de medida anglosajona (no incluida en el Sistema Internacional de Unidades) que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, e indica el volumen en pies cúbicos y que pasa por una sección determinada en la unidad de tiempo.

SCFM: En inglés *Standard cubic feet per minute* (SCFM), que corresponde al CFM en condiciones estándar. (En la ubicación de operación del equipo)

ACFM: En inglés *Actual cubic foot per minute* (ACFM) corresponde al CFM real ("actual", que en inglés significa "real") en condiciones distintas de la estándar (las cuales hay que indicar). Por lo general para los compresores se considera al nivel del mar y con cero de humedad relativa).

Caudal de aire comprimido. Es la cantidad de aire comprimido medido como volumen, suministrado por el compresor por unidad de tiempo. El caudal se tiene que referir siempre a las condiciones de temperatura, presión y humedad en que se ha medido. Generalmente se expresa en m³/min, litros/min o m³/h.

Potencia eléctrica: La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, es la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

HP: Del inglés *horsepower*, es el nombre de varias unidades de medida de potencia utilizadas en el sistema anglosajón. Se denota hp, HP o Hp, del término inglés *horsepower*, expresión que fue acuñada por James Watt en 1782 para comparar la potencia de las máquinas de vapor con la potencia de los caballos de tiro. Más tarde se amplió para incluir la potencia de salida de los otros tipos de motores de pistón, así como turbinas, motores eléctricos y otro tipo de maquinaria.

Demanda o pico de demanda: La demanda máxima o pico de demanda en una red eléctrica es simplemente la demanda de energía eléctrica más alta que se ha producido durante un período específico. La demanda pico se clasifica típicamente en anual, diaria o estacional. Demanda máxima, demanda pico o carga máxima son términos utilizados en la gestión de la demanda de energía que describen un período en el que se espera que se proporcione energía eléctrica durante un período sostenido a un nivel de suministro significativamente superior al promedio. Las fluctuaciones máximas de la demanda pueden ocurrir en los ciclos diarios, mensuales, estacionales y anuales.

Factor de potencia: Se define factor de potencia, f.p., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Por esta razón, f.p. = 1 en cargas

puramente resistivas; y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia f.p. = 0.

Hora pico: La hora punta u hora pico es la denominación que se le da al periodo, no necesariamente una hora, en el que regularmente se producen congestiones. El instituto Costarricense de Energía "ICE" establece los siguientes horarios:

Período punta: Se define como período punta al comprendido entre las 10:01 y las 12:30 horas y entre las 17:31 y las 20:00 horas. La demanda para facturar será la máxima potencia registrada durante el mes, excepto la registrada los sábados y domingos.

Período valle: Se define como período valle al comprendido entre las 6:01 y las 10:00 horas y entre las 12:31 y las 17:30 horas. La demanda para facturar será la máxima potencia registrada durante el mes.

Período nocturno: Se define como período nocturno al comprendido entre las 20:01 y las 6:00 horas del día siguiente. La demanda para facturar será la máxima potencia registrada durante el mes.

KWH: El Kilo vatio-hora, simbolizado Wh (o a veces también W·h o W-h), es una unidad de energía expresada en forma de unidades de potencia por tiempo, con lo que se da a entender que la cantidad de energía de la que se habla es capaz de producir y sustentar una cierta potencia durante un determinado tiempo. Así, un vatio-hora es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un vatio (1 W) durante una hora, y equivale a 3600 julios. Es una unidad que no pertenece al Sistema Internacional de Unidades. El kilovatio-hora (kWh), equivalente a mil vatios-hora, se usa generalmente para la facturación del consumo eléctrico domiciliario.

Eficiencia energética: El uso eficiente de la energía, a veces simplemente llamado eficiencia o ahorro energéticos, es el objetivo de reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios.

SAP: Es uno de los principales softwares que utilizan las empresas para organizar y gestionar sus recursos. ... En la versión inglesa significa "Systems, Applications, Products in Data Processing", lo que traducido al español sería: "Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos"

HG: Hierro galvanizado.

SCH: (SCH, del inglés *Schedule*). El SCH corresponde a la norma ASTM, que especifica la cédula de la tubería.

Capex: Las inversiones en bienes de capital, gastos en capital, capex (contracción del inglés capital expenditure) o CAPEX son inversiones de capital que crean beneficios.

Resumen

El presente trabajo es acerca de la empresa Durman Esquivel, del grupo Aliaxis, que es una planta manufacturera de productos como tubería y accesorios de PVC, la cual está ubicada en el Coyal de Alajuela, en el parque industrial Propark.

El documento como tal es una herramienta informativa para generar ahorro en un sistema de aire comprimido. En él quedan las consideraciones hechas sobre actividades necesarias para generar ahorros de energía eléctrica producto de buenas prácticas en el uso del aire comprimido, así como la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de las redes neumáticas. La planta ya contaba previamente con toda la estructura de su red de distribución y sus compresores, por lo que el enfoque fue sobre la eficiencia de lo actual y sobre una posible implementación de otros equipos en el sector de la generación de aire comprimido, buscando lograr uno de los objetivos de ahorro de 5% del consumo de energía eléctrica. Para la elaboración de este trabajo inicialmente se investigó sobre temas de interés alrededor del principal, mediante consulta de diferentes fuentes de información y entidades de nivel nacional, tales como proveedores y sitios web relacionados con el caso, ello a partir de la experiencia técnico-profesional y considerando las megatendencias que prevalecen en el desarrollo de tecnologías de aire comprimido.

En el diagnóstico de la situación actual se pudo determinar que la planta contaba con un potencial de ahorro muy grande al unir las redes de distribución de sus dos plantas o subprocesos (Extrusión e Inyección), eliminando así el uso de tres compresores. También se descubrió un potencial de ahorro que se generaría al reducir las presiones de trabajo y la generación de aire comprimido. Igualmente se pudo determinar que las rutinas de mantenimiento para el control y diagnóstico de fugas de aire comprimido no era eficiente pese a que se cuenta con rutinas dedicadas a esta gestión.

Las propuestas de mejora consisten en determinar el mejor desempeño de los compresores, además de reducir la presión de descarga de los equipos de compresión, más la reducción de la presión de la red de distribución en la planta y, por último, la aplicación de un programa integral para eliminar fugas de aire comprimido. Todo esto bajo control con indicadores de desempeño energético (KPI's).

Finalmente se logró la implementación de la propuesta satisfactoriamente con una mejora de 34,28%, superior a lo propuesto inicialmente. Así, cuantificados los beneficios de la propuesta se logran ahorros de 39 533 kWh mensuales, que equivalen a USD 4 976,32 mensuales solo en energía. (Esto es, 474 399,48 kWh, USD 59 715,87 anuales).

Capítulo 1: Introducción

Planteamiento del problema

¿Cuáles equipos de compresores de aire comprimido deben implementarse y cómo deben acomodarse los actuales para crear una red de aire comprimido más eficiente que genere ahorros energéticos en una planta manufacturera de tuberías y accesorios de PVC en el Coyol de Alajuela?

Objetivos generales

- Reacomodar los equipos actuales y crear un sistema adecuado de red de aire comprimido más eficiente según las recomendaciones de sus fabricantes y proveedores locales de compresores de aire comprimido, con el fin de generar ahorros energéticos en una planta manufacturera de tuberías y accesorios de PVC en el Coyol de Alajuela,

Objetivos específicos

- Tabular en una hoja de cálculo los equipos consumidores de aire comprimido de toda la red y tomar los datos técnicos referidos a presión y caudal de aire a fin de determinar el requerimiento general de la red de aire comprimido.
- Identificar los equipos claves de la red de aire comprimido de la planta productiva mediante los estudios obtenidos con el propósito de establecer los valores mínimos requeridos.
- Medir el consumo en KWh actual de previo a las reformas necesarias de la zona de compresores, por un periodo no menor de tres semanas, y generar datos de consumo en intervalos de 10 segundos, para una comparación posterior.
- Determinar cuáles son las nuevas tecnologías que ofrece el mercado por medio de la investigación en todo el país por medio de los proveedores de equipos de aire comprimido, ello con el fin evaluar cuáles son viables de implementar en el proyecto.
- Determinar cuál es el ajuste más adecuado para los compresores en operación, con base en el estudio de campo y con el fin de optimizar su consumo eléctrico y lograr un ahorro de 5%.
- Implementar rutinas de mantenimiento preventivo, usando como base la recomendación de fabricantes, para identificar fugas de aire en los equipos productivos.

Justificación

En 1959 se funda Durman en Costa Rica e inicia las primeras importaciones de materiales para la construcción.

Durman se dedica a la fabricación y comercialización de productos de PVC, otros termoplásticos y servicios transformados en soluciones innovadoras e integrales para los segmentos de edificación/predial, irrigación e infraestructura con el propósito de ser líderes en el mercado latinoamericano. La empresa es parte de la líder mundial en la fabricación y distribución de sistemas de conducción de líquidos (Aliaxis).

Durman se propone superar las expectativas de sus clientes y garantizar la confianza en sus productos y servicios.

Ante el nuevo milenio, Aliaxis, como protagonista mundial en la industria de tuberías y accesorios para la conducción de fluidos, vuelve su mirada hacia los mercados latinoamericanos y, concretamente, a empresas consolidadas con enorme potencial de crecimiento. De este modo, surge una fusión entre dos empresas líderes (Durman/ Aliaxis) en el mercado que deciden unificar fuerzas y aprovechar la fortaleza financiera y tecnológica de una, así como el liderazgo y la presencia en la región de la otra. Así es como surge Aliaxis Latinoamérica, una nueva entidad presente a lo largo de 13 países de la región latinoamericana.

La planta productiva ubicada en el Coyol de Alajuela es la planta más moderna del grupo en la región latinoamericana. Su infraestructura fue diseñada para ser la planta modelo de la región y esto trajo consigo los retos de ser una planta eficiente en todos sus procesos que la convierten en el ojo crítico de sus similares. Hoy día esta planta lleva los mejores indicadores productivos y está en constante revisión para mejorar sus propios indicadores y sus sistemas de gestión la motivan a serlo.

Es por ese motivo que con este proyecto se busca conseguir ahorro de energía eléctrica mediante la optimización de la red de aire comprimido. Las mejoras de la implementación de equipos aportarán al indicador productivo del costo de conversión (dólares por tonelada producida "\$/TON"), y por consiguiente mejorará el indicador de energía por tonelada producida (KWh/TON).

Esta planta fue dividida en dos grandes áreas productivas. Cada una de ellas cuenta con su propia red de aire comprimido. Estas dos zonas son llamadas planta de inyección y planta de extrusión. La planta de inyección cuenta con cuatro compresores pequeños de 18,6KW (25Hp) cada uno y la planta de extrusión cuenta con tres compresores grandes de la marca Sullair 74,5 KW (100Hp), 56KW (75Hp) y 74,5KW (100Hp). Cada red suministra la alimentación del aire comprimido para las distintas plantas productivas. El sistema también cuenta con secador de aire, filtros de partículas y un sistema robusto de acumuladores de aire para suplir la demanda en las horas pico de consumo. Este proyecto abarcará toda la red de

ambas plantas. Se medirá el consumo real por un periodo no menor de un mes, lo cual será la base de comparación para atender las recomendaciones.

Proyecciones

Como producto de este trabajo se entregarán -en formato digital- el diagrama unifilar de la distribución de la red propuesta del sector de compresores, la memoria de cálculo en formato Excel, el levantamiento de equipos consumidores de aire comprimido, y lo concerniente a la implementación de la mejora en el formato de las rutinas del mantenimiento preventivo para el control de las fugas de aire comprimido, así como el resumen financiero de la implementación.

Capítulo 2: Marco referencial

Limitaciones

Este proyecto tiene las siguientes limitaciones:

1. La planta cuenta con un circuito cerrado en cada una de sus redes de aire comprimido, por lo que se dificulta medir los consumos de m^3/min en puntos específicos, para determinar equipos claves.
2. Durman no cuenta con instrumento para medir los m^3/min totales a la salida de los compresores, por lo que se considerará la subcontratación de un estudio externo.
3. Los elementos de cada máquina no cuentan con una definición de consumo por actuador o elemento consumidor de aire comprimido, por lo que se considerarán únicamente los datos del fabricante en cuanto a requerimiento mínimo de presión.

Antecedentes

Tesis N.º 1

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: Diseño de la red principal de aire comprimido de la planta CEMEX, Colorado, Abangares, Costa Rica

Autor: José Miguel Bonilla Gutiérrez

Año: 2014

En este proyecto se plantearon los siguientes objetivos: Reducir el porcentaje de fugas en la red principal de aire comprimido, modificar la red de distribución de la tubería principal de aire comprimido en la que se trazaron rutas más eficientes para la distribución del aire comprimido para los diferentes procesos. Se justificaron por medio de un estudio económico la viabilidad y rentabilidad del diseño propuesto y se propusieron oportunidades de conservación de la energía en el sistema de aire comprimido.

Se planteó una estrategia para la erradicación de fugas de aire comprimido por medio de un mantenimiento predictivo semanal utilizando medios tecnológicos como el ultrasonido. Debido a la complejidad operacional de la planta la mayoría de las fugas de aire son difíciles de determinar, principalmente las localizadas en los equipos claves, por lo que se propuso capacitar al personal para que practique rutinas de inspección en un plan semanal. Asimismo, se propuso que el personal de producción haga inspecciones, por medio de la investigación de nivel nacional, con los proveedores de equipos de aire comprimido autónomos, con la finalidad de potenciar la detección de fugas.

La capacitación que se propuso estuvo orientada al campo en donde se expongan las virtudes de la técnica de ultrasonido. También se diseñó una hoja en la que el mecánico de turno pueda anotar las características de la fuga determinada y la localización.

El ahorro que se planteó en este proyecto luego de una inspección realizada para detectar fugas solo en el sector crítico de la planta se determinó como un caudal superior a 4 Nm³/min, equivalentes a 613,69 kWh/día.

Tesis N.º 2

Institución: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

Tema: Rediseño de sistema de aire comprimido

Autor: Mario Federico Brenes Quirós

Año: 2008

El señor Mario Federico Brenes Quirós plantea en su tesis de graduación el rediseño de una red de aire comprimido para el taller de servicio de Purdy Motor, SA, ubicado en el cantón Central, distrito Zapote, provincia de San José.

El señor Brenes Quirós encontró que el sistema en el que está instalado el compresor carece de una adecuada ventilación natural, lo que provoca una degradación prematura del compresor, debido a la humedad y el polvo. La calidad del aire en estas condiciones es perjudicial para las herramientas que utiliza el taller; de ahí que plantea la necesidad de incorporar en la red un sistema de filtración eficiente de partículas y trampa de agua que ayude a la conservación de las tuberías al retrasar el deterioro por corrosión. Es por lo anterior que apunta que si no se trata el aire comprimido puede haber problemas de seguridad para el personal y se pueden producir averías tanto en la red como en los equipos y generarse altos costos de mantenimiento.

También explica el problema de la condensación producida durante la etapa de actividad del compresor, pues se evidencia una recolección de 2,1 litros de agua por hora, lo que representa mucho condensado en el sistema que debe ser atendido. El del impacto ambiental es uno de los principales puntos por considerar en todo proyecto. Un sistema de aire comprimido no se aísla de esta realidad por lo que en el momento de evacuar estos condensados del sistema se debe hacer de una manera correcta. Esto porque no es solo agua lo que se retira sino que se deben eliminar contaminantes como el aceite, y si no se hace se contaminan el ambiente y los elementos de la red y habrá un impacto ambiental negativo.

Tesis N.º 3:

Institución: Instituto de tecnologías, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Tema: Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz

Autor: Carlos Fernández Zhimnaycela Reino y Darío Alfonso Camposano Filian

Año: 20011

Los señores Carlos Fernández Zhimnaycela Reino y Darío Alfonso Camposano Filian plantearon en su tesis de graduación cuáles son las actividades requeridas para la implementación de un sistema de aire comprimido en un taller de mecánica automotriz. Presentaron los cálculos para de los diámetros de tubería, la caída de presión por la longitud de la tubería y los accesorios, y explicaron las desventajas de la instalación de tubería en red abierta.

Una de sus recomendaciones referentes a la identificación de fugas la describen como la más fácil (utilizando agua y jabón). Esta propuesta responde al tamaño de la red y a la poca cantidad de puntos de inspección que en términos de tiempo se atiende rápidamente. Mientras tanto, en una industria se deben usar medios tecnológicos, como el ultrasonido, para inspeccionar más de 300 puntos de conexión.

Un aspecto interesante que abarcan es el referente a la seguridad, ya que por los peligros del aire comprimido una fuga de aire a una presión considerada alta podría ocasionar lesiones graves en el cuerpo humano, y con mayor riesgo de gravedad cuando alcanzan los ojos. Los autores se interesaron mucho en la señalización en términos de seguridad e integridad de los usuarios que estén dentro y fuera del taller.

Tesis N.º 4

Institución: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Tema: Ahorro de energía en el sistema de aire comprimido siguiendo el Programa *Lean Energy* de Baxter Productos Médicos.

Autor: Luis Felipe Córdoba Ramírez

Año: 2016

El señor Luis Felipe Córdoba Ramírez desarrolló su proyecto acerca de la empresa Baxter Productos Médicos, empresa manufacturera de dispositivos médicos localizada en el Parque Industrial de Cartago, el cual consistió en formular propuestas de ahorro energético en el sistema de aire comprimido. El objetivo fue mejorar en 5% el desempeño energético del sistema. Su propuesta estuvo guiada por la norma INTE/ISO 50001:2011 y por el programa interno de la compañía *Lean Energy*, los cuales sirvieron de guía para determinar cuanta energía se estaba gastando y cómo se estaba utilizando, esto para determinar cuáles eran los equipos de mayor consumo energético de Baxter. Según ISO, “la compañía debe desarrollar, registrar y mantener una revisión energética. La metodología y el criterio utilizados para desarrollar la revisión energética deben estar documentados. Para desarrollar esta revisión la organización debe analizar el uso y consumo de la energía basándose en datos históricos de la planta.” En cuanto a monitoreo la planta cuenta con una red de medidores de energía (PM) conectados a los equipos y tableros de mayor consumo. Estos se conectan a un Power Logic que recolecta la información y los transmite a un software. Con frecuencia quincenal se toman datos de cada PM por parte de un técnico eléctrico. Para la revisión energética se hizo un estudio de consumo eléctrico de todos los equipos de la planta. El diagnóstico de la situación llevó a determinar que los compresores representan el mayor gasto energético de la planta, además de que la empresa carecía de un programa de detección y corrección de fugas, a pesar de que habían iniciado labores de monitoreo y de ahorro. Las propuestas de mejora consistieron en determinar el desempeño de los compresores de casa máquinas N.º 1, además de reducir la presión de descarga de los equipos de compresión y, por último, en aplicar un programa integral para eliminar fugas de aire comprimido. Todas estas propuestas serán controladas con indicadores de desempeño energético. Finalmente se logró la implementación satisfactoria del programa de fugas y se obtuvo una mejora de 8,4%, superior a lo propuesto inicialmente. Al analizar los beneficios de esta propuesta se logran ahorros de \$13.410 y de 158.609 kWh anuales.

Capítulo 3: Marco teórico

Generalidades

Los sistemas neumáticos de mando consumen aire comprimido que debe estar disponible en el caudal suficiente y con una presión determinada, según el requerimiento de trabajo. El equipo principal de una instalación productora de aire comprimido es el compresor, del que existen varios tipos para las distintas posibilidades de utilización.

El uso del aire comprimido es muy común en la industria y su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

La compresión de aire se realiza con diversos propósitos, entre los que se pueden mencionar: transmisión de potencia, alimentación a un proceso de combustión, transporte y distribución de gas, obtención de condiciones más favorables en una reacción química, etc.

Además, es muy importante que el aire sea puro para que el generador de aire comprimido alargue su vida útil. También debería tenerse en cuenta la aplicación correcta de los diversos tipos de compresores.

En este apartado se entrega una visión general de cómo se obtiene el aire comprimido como fluido de trabajo. También se analizan sus propiedades básicas y sus requerimientos de calidad para la obtención de un fluido de trabajo óptimo que no provoque daños progresivos en la planta de aire comprimido.

Posteriormente se dan a conocer los diversos principios de funcionamiento de los compresores y se analiza cada uno de estos, para finalizar con una visión general de los tipos de compresores existentes. Se hace hincapié en los compresores de tornillos los cuales se analizan de forma más extensa, debido a que este tipo de compresores se encuentran presentes en las plantas industriales de aire.

Con respecto al análisis de los compresores, en este apartado no se tocan temas referentes a su selección, instalación y mantenimiento, sino que se analizan de forma conceptual. Sin embargo, existen diferentes métodos de compresión y por eso se dificulta la elección de alguno para el consumo eficiente de energía en una industria. El crecimiento de la economía durante los últimos años se ha traducido en un aumento desmedido del consumo de energía eléctrica sin tener en consideración la protección del ambiente y de los recursos naturales, lo cual podría comprometer el crecimiento futuro de un país. El uso eficiente de la energía constituye una de las más importantes opciones tecnológicas para enfrentar los problemas señalados. El uso eficiente de la energía eléctrica consiste en satisfacer los requerimientos energéticos de la sociedad al menor costo económico posible, en energizar de manera productiva las actividades que requieren este recurso. El ahorro de energía permite reducir los costos de producción, lo que se traduce en un incremento de la ganancia en una empresa.

Teoría básica de los compresores de aire

¿Qué es el aire?

El aire es un gas incoloro, insípido e inodoro. Es una mezcla de gases. La masa total de aire en la atmósfera se calcula en unos $15,17 \times 10^7$ kg, algo menos que la millonésima parte de la masa del planeta.

La composición del aire permanece relativamente constante hasta 20 kilómetros de altura.¹

¹ E. Carnicer Royo, Teoría y cálculo de las instalaciones

Es una mezcla de gases en proporciones ligeramente variables, compuesta por 78,09 % de nitrógeno, 20,95 % de oxígeno, 0,93 % de argón, 0,04 % de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de otros gases. El aire también contiene una cantidad variable de vapor de agua, en promedio de alrededor de 1 % en el nivel del mar y de 0,4 % en toda la atmósfera²

² Rapin, Pierre J.; Jacquard, J.; Jacquard, Patrick (1 de enero de 1997). Instalaciones frigoríficas. Marcombo. ISBN 8426710913. Consultado el 16 de febrero de 2017.

Aunque ningún gas real es ideal, muchos de ellos se comportan de manera tan semejante que sus cálculos como gases ideales proporcionan buenas respuestas en ingeniería.

No existe una línea definida de separación que divida a los gases imperfectos de los ideales o perfectos, pero el criterio en ingeniería es sencillo: *“si las leyes de los gases ideales rinden resultados suficientemente exactos, la sustancia se considera como un gas ideal; si no es un gas imperfecto”*.

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). La energía cinética es directamente proporcional a la temperatura en un gas ideal. Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura.

En 1648 el químico Jan Baptista van Helmont creó el vocablo gas a partir del término griego kaos (desorden) para definir las génesis características del anhídrido carbónico. Esta denominación se extendió luego a todos los cuerpos gaseosos y se utiliza para designar uno de los estados de la materia.

La presión ejercida por una fuerza física es inversamente proporcional al volumen de una masa gaseosa, siempre y cuando su temperatura se mantenga constante, o en términos más sencillos:

A temperatura constante, el volumen de una masa fija de un gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce. Matemáticamente se puede expresar así:

$P V = k$ donde k es constante si la temperatura y la masa del gas permanecen constantes.

Cuando aumenta la presión el volumen baja, mientras que si la presión disminuye el volumen aumenta. No es necesario conocer el valor exacto de la constante k para poder hacer uso de la ley: si se consideran constantes la cantidad de gas y la temperatura, deberá cumplirse la relación:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Las primeras leyes de los gases fueron enunciadas desde finales del siglo XVII, aparentemente de manera independiente, por August Krönig en 1856,¹ y Rudolf Clausius en 1857,². La constante universal de los gases se descubrió y se introdujo por primera vez en la ley de los gases ideales en lugar de un gran número de constantes de gases específicas descritas por Dmitri Mendeleev en 1874.

En este siglo los científicos empezaron a darse cuenta de que, en las relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura de una muestra de gas, en un sistema cerrado, se podría obtener una fórmula que sería válida para todos los gases. Estos se comportan de forma similar en una amplia variedad de condiciones debido a la buena aproximación que tienen las moléculas que se encuentran más separadas, y hoy en día la ecuación de estado para un gas ideal se deriva de la teoría cinética. Ahora, las leyes anteriores de los gases se consideran como casos especiales de la ecuación del gas ideal, con una o más de las variables mantenidas constantes.

Empíricamente, se observan una serie de relaciones proporcionales entre la temperatura, la presión y el volumen que dan lugar a la ley de los gases ideales, deducida por primera vez por Émile Clapeyron en 1834 como una combinación de la ley de Boyle y la ley de Charles.

Para familiarizarse con los sistemas de aire comprimido es conveniente conocer los siguientes conceptos:

Aire comprimido. Se denomina aire comprimido al que se encuentra a una presión superior a la atmosférica. Esta condición del aire se obtiene mediante compresores. Las moléculas del aire comprimido no ofrecen ninguna resistencia para desplazarse entre sí y transmiten su presión a toda pared con la que están en contacto.

Presión. Puede definirse como la fuerza normal por unidad de área ejercida por un fluido. Existen diferentes denominaciones de presión: absoluta, manométrica o efectiva, atmosférica y de vacío:

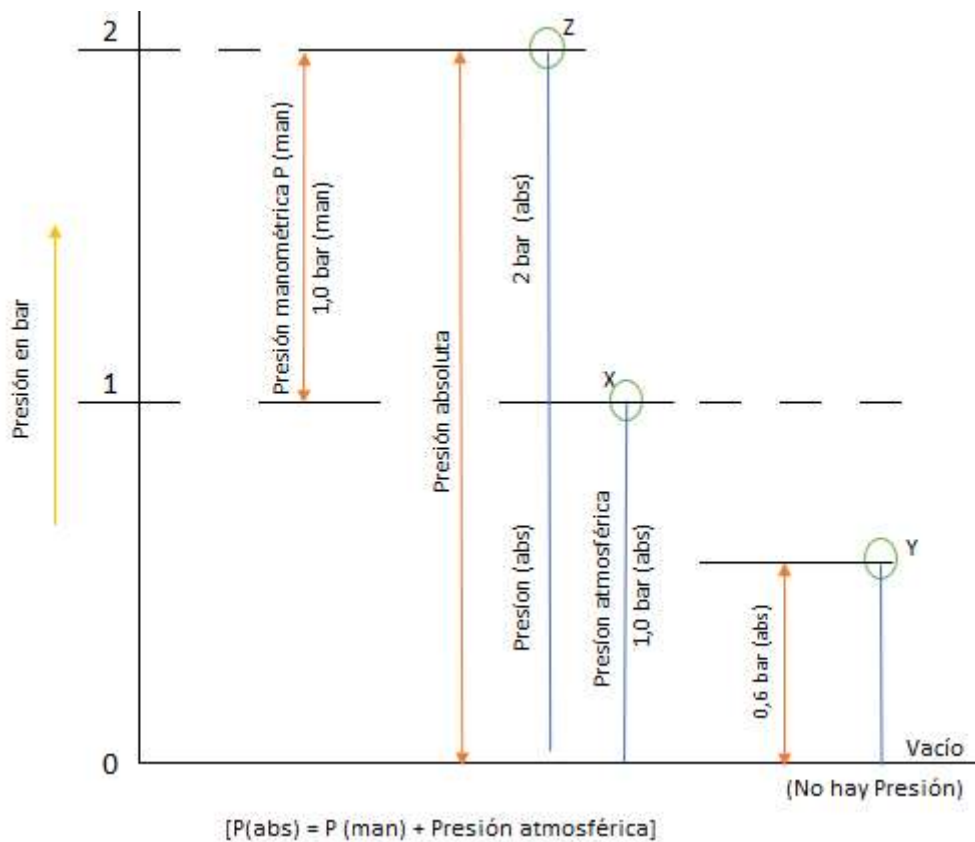


Figura 1 Concepto de presión atmosférica y presiones absolutas
(Nota: La presión atmosférica no es exactamente de 1 bar. Es de 1.013 bar al nivel del mar)

Presión atmosférica. Es la presión a nivel del mar. Es un indicador o valor fijo correspondiente a 101396. Pa (1,014bar) pero para facilitar los cálculos suele tomarse como igual a 1,0 bar.

Presión atmosférica local o presión barométrica. Es la presión ambiental en un lugar determinado, en función de la altitud con respecto al nivel del mar.

Presión de vacío. Es la presión inferior a la presión barométrica, también llamada presión negativa.

Presión absoluta. Es la presión real que se encuentra en una posición dada.

Presión manométrica. Es también llamada presión efectiva y se define como la diferencia entre presión absoluta y presión atmosférica local.

En la figura 1.1 la presión atmosférica se toma (lo que indica la línea punteada) como 1,0 bar. La presión hacia arriba de la recta es la indicada por el manómetro.

Por consiguiente, la presión en el punto Z es 1 bar. Para hallar la presión absoluta en ese punto el cálculo se realiza del siguiente modo:

Presión absoluta= presión manométrica + presión atmosférica

$$P(abs) = P(man) + 1 \text{ bar}$$

$$P_z(abs) = 1 \text{ bar}(man) + 1 \text{ bar} = 2 \text{ bar}(abs)$$

De manera análoga, en el punto X la presión es 1 bar (absoluto); es decir, 0 bar (manométrico). En el punto Y la presión está por debajo de la atmosférica; es decir, no hay presión. La presión en Y se expresa como 0,6 bar (absoluto); o sea, arriba de 0. A veces se usa el término presión negativa lo cual significa que la presión en Y es $(0,6 - 1) = - 0,4$. Se puede observar el signo negativo.

Por lo tanto:

$$P(abs) = P(man) + \text{presión atmosférica}$$

$$P(man) = P(abs) - \text{presión atmosférica}$$

Temperatura. Es un término complejo; sin embargo, una definición apropiada es: la cantidad de energía cinética con que se mueven las moléculas.

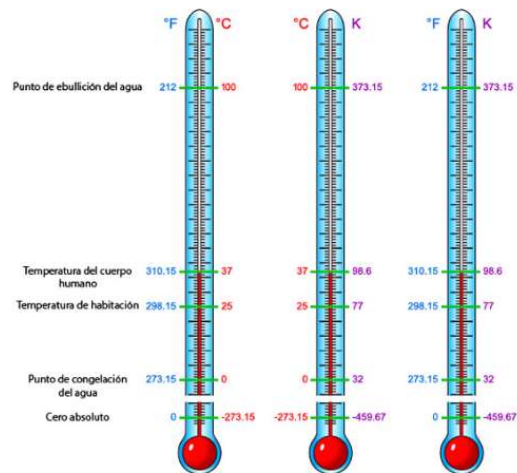


Figura 2 Escala de temperatura

Comportamiento de un gas según la presión y la temperatura

Las moléculas que componen los gases chocan elásticamente entre sí y con las paredes del recipiente en donde están contenidas, lo que provoca la presión gaseosa, es decir, la fuerza dirigida desde el seno del gas hacia las paredes del recipiente. Si el recipiente aumenta de volumen el gas ocupa inmediatamente el nuevo espacio y disminuye su presión. La propiedad que les permite a los gases posicionarse hasta ocupar todo el volumen de un recipiente se denomina expansibilidad.



Figura 3 Comportamiento de los gases.

Al aumentar la presión exterior las partículas que forman los gases disminuyen sus distancias relativas y el gas se comprime, es decir, pasa al estado líquido. Esta propiedad de los gases se denomina compresibilidad y puede observarse claramente en la naturaleza, en el rocío y en la humedad durante el ciclo del agua (condensación). La compresibilidad es aprovechada para transportar y almacenar

Compresores

Un compresor es una máquina que está diseñada y construida para aumentar la presión y desplazar a cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. Estos son los encargados de producir el aire comprimido impulsados por motores eléctricos o de combustión.

Como se muestra en la figura siguiente los compresores se clasifican en dinámicos y volumétricos. Los dinámicos se dividen en dos: flujo radial y flujo axial, mientras que los compresores volumétricos se dividen en dos grupos: los de émbolo (pistón) y los rotativos (de rotor), que a su vez se subdividen en de émbolo y de membrana.

En toda instalación neumática la generación de aire empieza por la compresión del aire por medio de un compresor. Dependiendo del tipo de compresor sus características y su ubicación en el sistema neumático repercute en mayor o menor grado en la cantidad de partículas, aceite y agua incluida en el sistema.

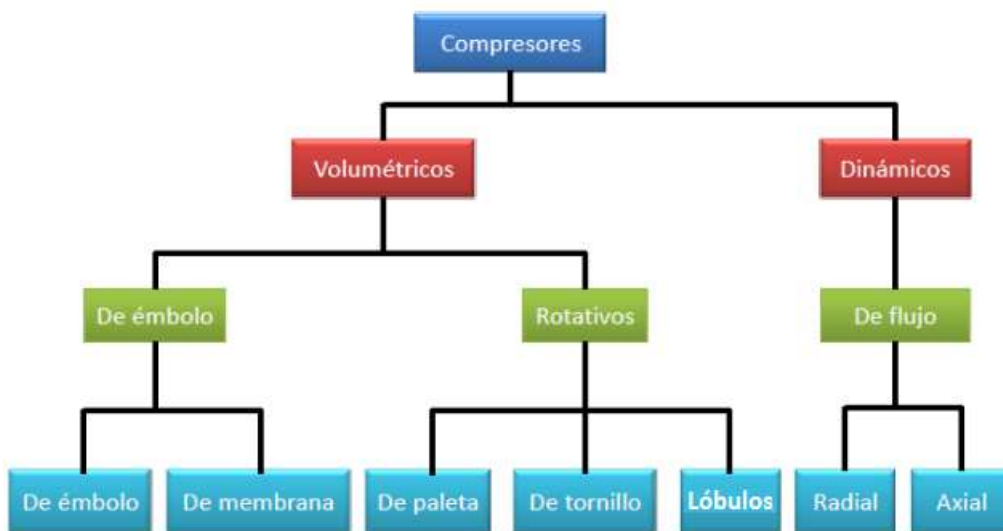


Figura 5 Clasificación de los compresores

Compresores volumétricos

Compresor de émbolo

Compresor de émbolo de una etapa

El aire aspira a presión atmosférica y se comprime a una presión deseada con una sola compresión. El movimiento hacia abajo del émbolo aumenta el volumen para crear una presión más baja que la de la atmosfera, lo que hace entrar el aire en el cilindro por la válvula de admisión. Al final de la carrera el émbolo se mueve hacia arriba. La válvula de admisión se cierra cuando el aire se comprime y obliga a la válvula de escape a abrirse para descargar el aire dentro del depósito. Este tipo de compresor, alternativo, se utiliza generalmente en sistemas que requieran aire en la gama de 3-7 bares.

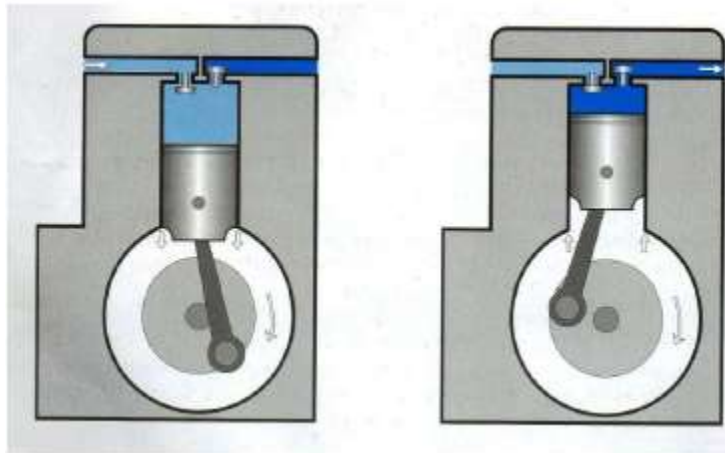


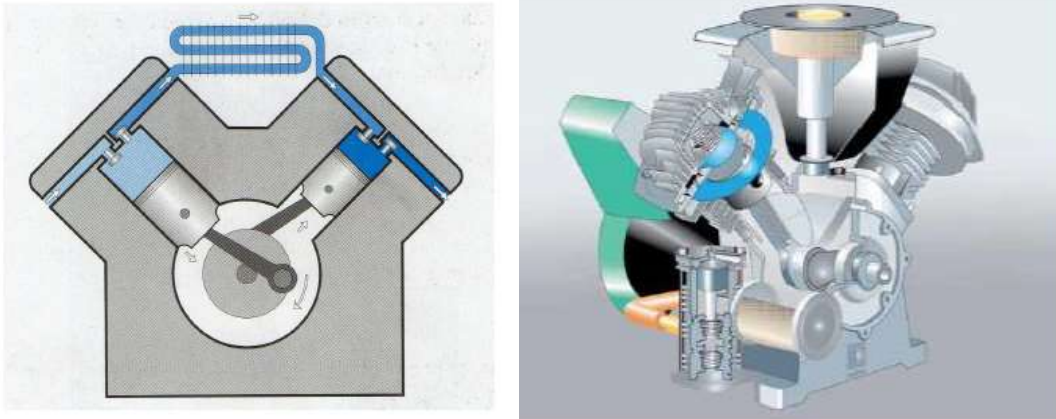
Figura 6 Compresor de émbolo de una sola etapa.

Compresor de émbolo de dos etapas

En un compresor de una sola etapa, cuando se comprime el aire por encima de los 6 bares el calor excesivo que se crea reduce en gran medida su eficacia. Debido a esto los compresores de émbolos utilizados en los sistemas industriales de aire comprimido son generalmente de dos etapas.

El aire recogido de la atmosfera se comprime en dos etapas, hasta la presión final. Si la presión final es de 7 bares la primera etapa comprime el aire hasta aproximadamente 3 bares, tras lo cual se enfría. Se alimenta entonces el cilindro de la segunda etapa que comprime al aire hasta los 7 bares. El aire comprimido entra en el cilindro de la segunda etapa a una temperatura muy reducida, tras pasar por el enfriador intermedio, lo que mejora el rendimiento en comparación con una

unidad de una sola compresión. La temperatura final puede estar en alrededor de los 120 'C. (Fig. 1 .6)



*Figura 7 Compresor de pistón en V.
Fuente: Atlas Copco. (2014).*

Compresor de émbolo de diafragma

El compresor de émbolo suministra aire comprimido seco hasta aproximadamente 5 bares y totalmente libre de aceite. Por lo tanto, se utiliza ampliamente en las industrias alimenticia, farmacéutica y similares. El diafragma proporciona un cambio en el volumen de la cámara lo que permite la entrada del aire en la carrera hacia abajo y la compresión y el escape en la carrera hacia arriba. (Fig. 1 .7)

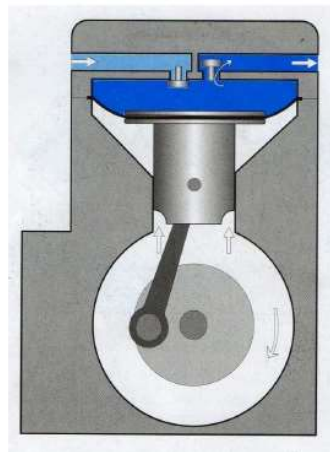


Figura 8 Compresor de diafragma

Compresores rotativos

Compresor rotativo de paletas deslizantes

Tiene un rotor montado excéntricamente con una serie de paletas que se deslizan dentro de ranuras radiales. Al girar el rotor la fuerza centrífuga mantiene las paletas en contacto con la pared del estator y el espacio entre las paletas adyacentes disminuye desde la entrada de aire hasta la salida, lo cual comprime el aire. La lubricación y la estanqueidad se obtienen inyectando aceite en la corriente de aire cerca de la entrada. El aceite actúa también como refrigerante para eliminar parte del calor generado por la compresión, para limitar la temperatura a alrededor de 290 °C. (figura 1 .8)

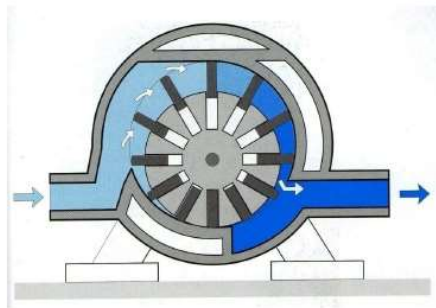


Figura 9 Compresor de paletas deslizantes

Compresor rotativo de tornillo

Es uno de los compresores de amplio uso industrial cuyos orígenes datan de la década de los 30. Fueron creados por Alf Lysholm. En la figura 1.9 se ilustra el funcionamiento del compresor de tornillo el cual toma el aire y lo va limitando conforme se desliza por los dientes del *sinfin helicoidales*.

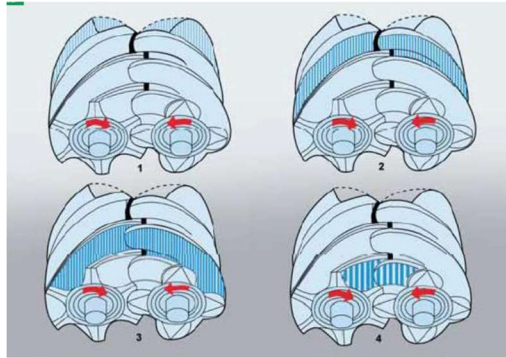


Figura 10 Diagrama de funcionamiento de compresor de tornillo.
Fuente: Atlas Copco (2010).

Compresores rotativos tipo lóbulos

El compresor de lóbulos está formado por dos rotores que de una forma especial giran en el interior de un cárter. En su funcionamiento no hay modificación de volumen y la presión la genera la aportación de más aire que el que se consume. Pueden utilizarse también como bombas de vacío y como medidores de caudal.

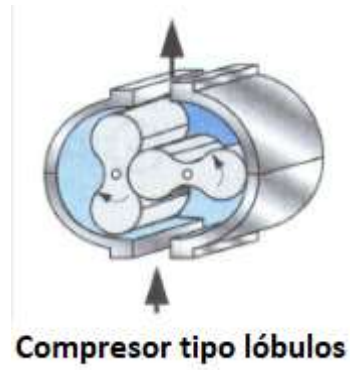
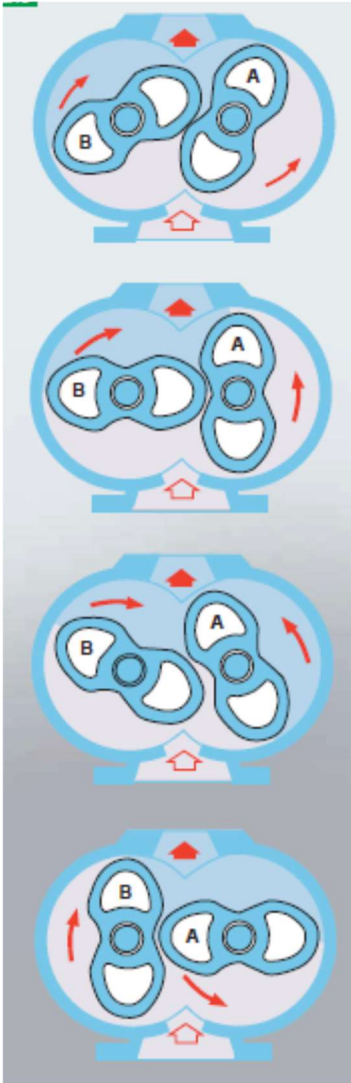


Figura 11 Compresor tipo lóbulos.
Fuente: Atlas Copco. (2014).

Compresores dinámicos

Turbo compresor radial

Este compresor funciona de una forma muy semejante a una turbina, solo que aquí los alabes en lugar de producir trabajo lo consumen. El recorrido del gas se realiza entre etapa y etapa, siguiendo un camino radial; de ahí su nombre. El gas proyectado contra la carcasa transforma su energía cinética en energía de presión. Tomado de la atmósfera, el aire va recorriendo todas las etapas de compresión. Puede advertirse que a medida que se van superando etapas la presión acumulada aumenta, con la consiguiente disminución de volumen por unidad de masa. Dependiendo del tipo de construcción pueden conseguirse resultados muy aceptables desde el punto de vista de energía consumida. En general, este tipo de compresores permite manejar grandes caudales a grandes presiones, 220 000 m³/h y 300 bares como máximo. (figura. 2.2)

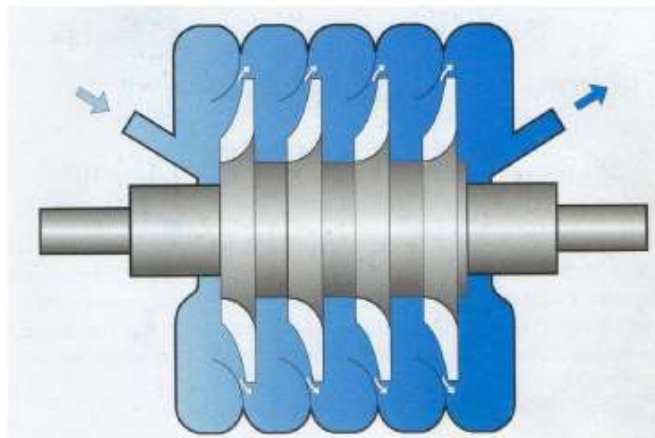


Figura 12 Turbo compresor radial.

Compresor de flujo axial

La aplicación del compresor de flujo axial es para flujos grandes y constantes de aire. Su virtud es la de libertad de aceite.

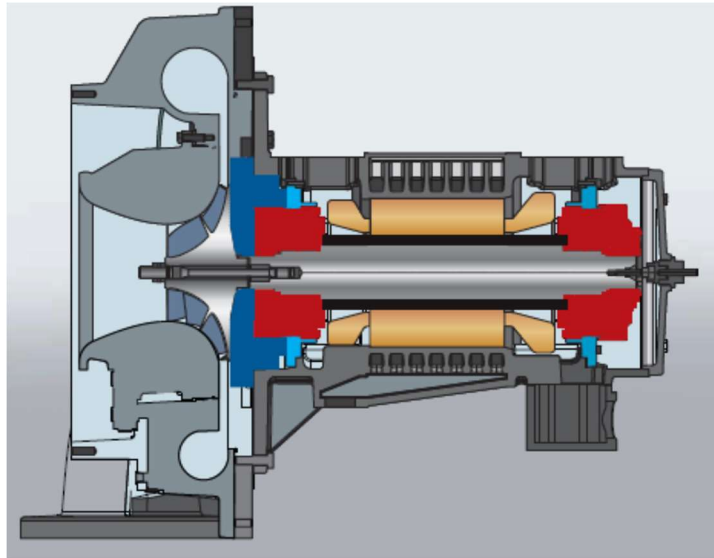


Figura 13 Compresor de flujo axial.

Usos del aire comprimido

Como se anotó anteriormente, la compresión es el proceso mediante el cual se eleva la presión de un fluido gaseoso por la disminución de su volumen específico. Por consiguiente, un compresor es una máquina destinada a elevar la presión de un fluido. La compresión se realiza con diversos propósitos, entre los cuales están los siguientes:

- Transmisión de potencia,
- alimentación para un proceso de combustión,
- alimentación para un proceso industrial,
- transporte y distribución de gas,
- hacer circular un gas durante un proceso o mediante un sistema,
- obtención de condiciones más favorables mediante una reacción química,
- obtención y mantenimiento de niveles de presión reducidos mediante la remoción de gases del sistema.

Unidades de tratamiento de aire comprimido

Las unidades de tratamiento del aire comprimido se encargan de intervenir el aire a fin de purificarlo, de tal modo que se eliminen gran parte de las impurezas: agua, sales minerales, vahos de aceite, etc. que se encuentran presentes de forma natural en el interior del aire de la sala de máquinas, hasta alcanzar una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red. Las unidades de tratamiento del aire comprimido que se señalan a continuación son: secadores de aire, filtros de aire, regulador de presión, lubricador de aire comprimido y unidades de mantenimiento.

Secadores de aire

Métodos para combatir la humedad

¿Cuánta agua es demasiada?

- Cualquier cantidad de agua es demasiado. El agua pone en peligro todo lo que el sistema de aire comprimido está dispuesto a hacer. Arruina el producto, ensucia los procesos y alguno de sus principales efectos es producir corrosión en las tuberías hasta causar averías prematuras en los equipos neumáticos.
- La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua en el aire en relación con lo que podría contener a una temperatura dada.
- La humedad del aire comprimido permanece en estado de vapor durante el ciclo de compresión, por lo que no causa problema sino hasta que salga del compresor.
- El aire descargado desde un compresor es de aproximadamente 65 °C a 232 °C.
- A 24°C y 75% de humedad relativa un compresor de 56Kw (75 hp) absorbe 174 litros de vapor de agua en 24 horas. Esto cuando el aire se enfría a aproximadamente 2°C a 7Kg/cm² (100 PSIG).

Secadores frigoríficos

El secador frigorífico es un equipo que se instala aguas abajo del compresor con la misión de secar el aire comprimido para reducir su contenido en vapor de agua, para evitar así las condensaciones en los puntos de trabajo.

El punto de rocío máximo de un secador frigorífico tradicional es de + 3°C. Esto es debido a que su principio de funcionamiento se basa en bajar la temperatura del aire comprimido a un valor igual o cercano al punto de rocío indicado. Si se bajara la temperatura a valores inferiores los condensados producidos se congelarían y provocarían un tapón de hielo en la salida de aire del secador.

La temperatura en el aire comprimido se reduce mediante un circuito frigorífico que trabaja sobre un intercambiador aire/gas.

El secador frigorífico es el equipo de secado más habitual en la mayoría de las instalaciones de aire comprimido. Utiliza un circuito de refrigerante y un intercambiador de calor, o varios, para enfriar previamente el aire, para refrigerar hasta condensar el vapor de humedad y volverlo a calentar y así evitar la condensación en las tuberías. Los secadores frigoríficos pueden producir un punto de rocío a presión (PRP) de hasta +3°C en numerosas aplicaciones que requieren aire seco. Pueden usarse a diferentes presiones y no consumen aire comprimido procesado.

Tipos de secadores frigoríficos

- Secador frigorífico de expansión directa:
 - Los secadores no cíclicos de velocidad fija funcionan de forma continua con independencia de la carga variable.
 - Los secadores cíclicos de velocidad fija se paran cuando desciende la carga para ahorrar energía y vuelven a arrancar cuando es necesario.
 - Los secadores de velocidad variable ofrecen la máxima eficiencia energética. Varían automáticamente la velocidad del compresor de refrigerante para adaptarla a las variaciones de carga.
- Los secadores de masa térmica cuentan con un intercambiador del calor que contiene normalmente una masa térmica líquida para almacenar la energía fría. Los secadores de masa térmica se paran cuando hay poco aire o cuando desciende la carga, esto para ahorrar energía.

- Los secadores de desplazamiento (Scroll) digitales tienen un compresor de refrigerante que carga o descarga en función de la demanda.

Principio de funcionamiento de un secador frigorífico

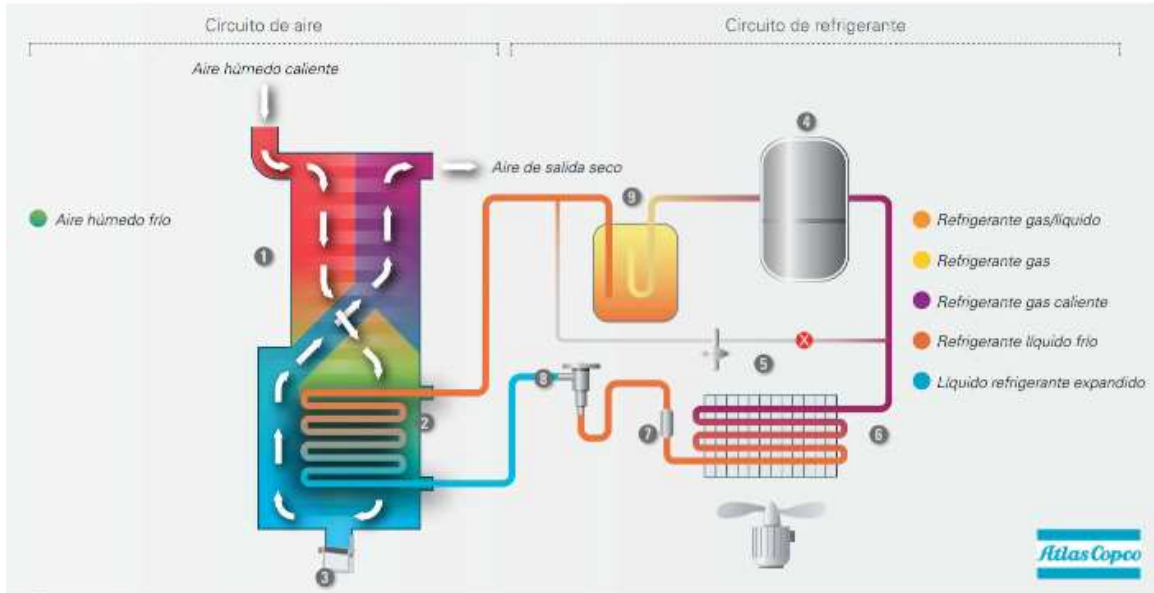


Figura 14 Principio de funcionamiento típico de los secadores frigoríficos de expansión directa
|| © Atlas Copco.

Circuitos de aire

1. Intercambiador de calor aire/aire: el aire de entrada es enfriado por el aire seco y frío de salida.
2. Intercambiador de calor aire-refrigerante: el aire es enfriado por el circuito de refrigerante hasta el punto de rocío deseado. El vapor de agua se condensa en gotitas de agua.
3. Separador de agua integrado: la humedad es recogida y evacuada por un purgador electrónico.

Circuito de refrigerante

El refrigerante elimina el calor del aire comprimido y lo enfría hasta el punto de rocío deseado.

4. Compresor de refrigerante: comprime el gas refrigerante a una presión mayor.
5. Dispositivo de regulación: la válvula de derivación de gas caliente regula el secador para evitar la congelación en condiciones de baja carga.
6. Condensador de refrigerante: enfría el gas refrigerante para que cambie de gas a líquido.
7. Filtro de refrigerante: protege al dispositivo de expansión contra partículas dañinas.
8. Válvula de expansión termostática: el proceso de expansión reduce la presión y continúa enfriando el refrigerante.
9. Separador de líquido: garantiza que solo pueda entrar en el compresor gas refrigerante.

Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes compuestas de ácidos naturales. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia se combina químicamente con esta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (dos a cuatro veces al año).

Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de este.

En el procedimiento de absorción se distinguen:

- Instalación simple.
- Reducido desgaste mecánico porque el secador no tiene piezas móviles.
- No necesita aportación de energía exterior.

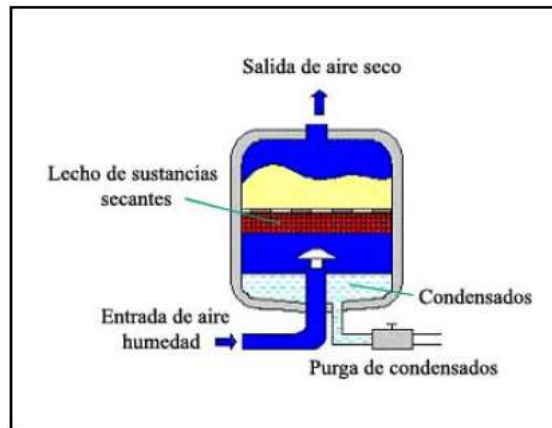


Figura 15 Secado por absorción.

Secado por adsorción

Frecuentemente este tipo de secado de aire se confunde con la absorción, que se refiere a la adhesión de moléculas de gases o líquidos en la superficie de sólidos porosos y es un fenómeno de superficie; la adsorción es una mezcla o interpenetración de dos sustancias

Este principio se basa en un proceso físico. Adsorber se define como depósito de sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos.

El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas. Se compone casi 100% de dióxido de silicio. En general, se le da el nombre de Sílica Gel.

La misión del gel es la de adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad (secador número 1 en servicio).

La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado se regenera de forma simple. El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica por medio de resistencias eléctricas, o también por medio de aire comprimido caliente. Se dispone en paralelo de dos secadores, como se muestra en la figura 16. Se puede emplear uno para el secado del aire, que proviene del depósito de aire (secador N.º1 en servicio), para que mientras en el otro secador, fuera de servicio (Stand-by), se está regenerando la Sílica Gel con aire caliente o con resistencias eléctricas, otro esté en operación; es decir, uno en uso y otro en la modalidad Stand-by regenerando o secando la Sílica.

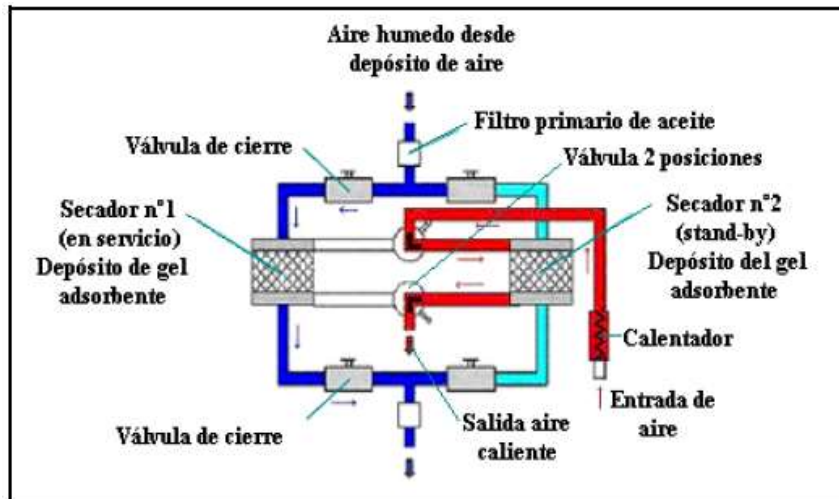


Figura 16 Secador por adsorción

Secador de membrana

Los secadores de membrana están compuestos por miles de diminutas fibras huecas de polímero contenidas en un cilindro. Estas fibras tienen permeación selectiva, es decir, tienen la capacidad de permitir que el vapor de agua atraviese la membrana y se acumule entre las fibras, mientras que el aire seco permanece casi a la misma presión que el aire húmedo entrante. Por lo tanto, la separación se produce por la diferencia de la presión parcial de un gas entre el interior y el exterior de la fibra hueca.

A diferencia de los anteriores sistemas para secado del aire comprimido, un secador de membrana no proporciona un punto de rocío a presión constante, sino que varía con las temperaturas y con el punto de rocío a presión de entrada. A esta característica se la denomina “supresión del punto de rocío a presión”.

Los secadores de membrana son equipos sencillos, silenciosos. Su consumo de energía es bajo y no tienen partes móviles (lo que simplifica considerablemente su mantenimiento). Además de eliminar agua, una membrana también puede separar los componentes de un gas gracias a las diferencias en el tamaño molecular y en la solubilidad del gas. Los gases de menor tamaño molecular tienen una mayor difusión y se pueden separar fácilmente por las diferencias en la movilidad.

Por sus características constructivas y por el tamaño del producto el uso de secadores de membrana está recomendado en aquellas aplicaciones en donde se requiera:

- Temperatura ambiente baja o alta.
- Espacio limitado.
- Silencio.
- Movilidad.

Sus mayores ventajas son poder funcionar sin fuente de energía o como secador final en zonas con peligro de congelación.

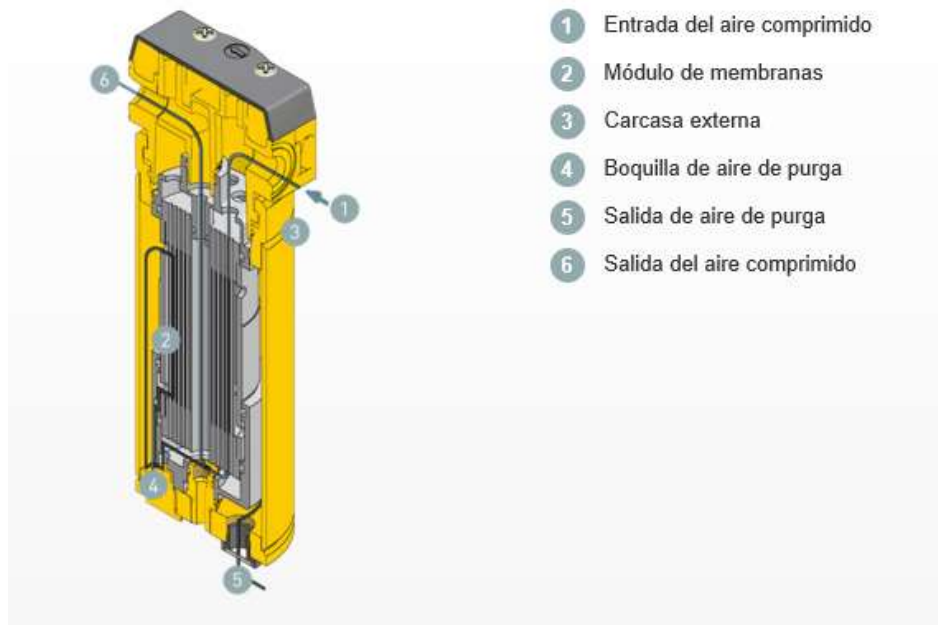


Figura 17 Funcionamiento del módulo del secador de membranas
 Fuente: Kaeser Compresores (2019).

Funcionamiento

El aire comprimido húmedo penetra en la carcasa. En el módulo de membranas toca las fibras de las membranas. Una pequeña parte del aire comprimido seco se desvía para utilizarse como aire de purga y pasa por el interior de las membranas de fibras huecas en trayectoria descendente, al tiempo que se despresuriza hasta presión atmosférica. Esa despresurización tiene como consecuencia un aumento de volumen que hace subir también la capacidad del aire para absorber la humedad. La diferencia de contenido de humedad de las dos corrientes contrarias, la de aire de purga y la de aire comprimido por secar, unida al hecho de que las membranas solo sean permeables al vapor de agua, hace que las moléculas de agua sean lo único que se difunde a través de las fibras de las membranas. El secador cuenta con salidas separadas para el aire comprimido seco y para el aire de purga.

Calidad del aire

Es de vital importancia para el usuario que el aire comprimido sea de la calidad necesaria. El aire comprimido puede contener sustancias no deseadas, por ejemplo, agua en forma de gotas o vapor, aceite en forma de gotas o aerosol, así como polvo. En función del área de aplicación del aire comprimido esas sustancias pueden perjudicar los resultados de producción e incluso aumentar los costes.

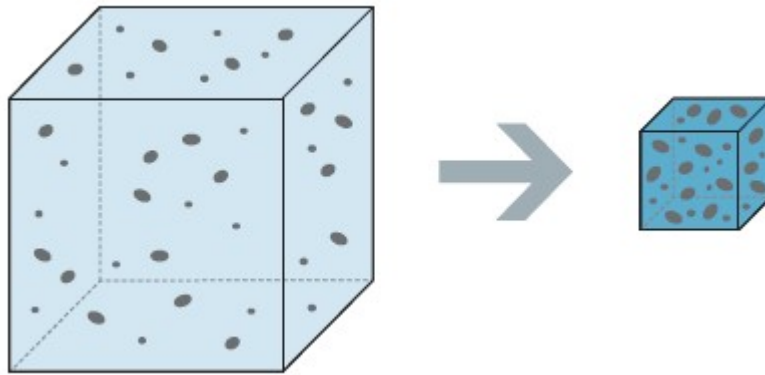
CAGI (2014) indica en el capítulo 3: Air Compressed Treatment (Dryers and filters) del Compressed Air and Gas Handbook que hay alrededor de 4 millones de partículas suspendidas en el aire atmosférico, y al ser comprimido a 7,24 Kg/cm² (103 PSIG) la concentración aumenta a 30 millones.

Un micrón es una millonésima parte de metro o 0,04 milésima de pulgada. CAGI (2014).

Al comprimir el aire la cantidad de partículas contaminantes por metro cúbico se incrementa, incluidas las del compresor, como aceite, agua y otras por desgaste durante el contacto superficial de los elementos mecánicos.



Figura 18 Partículas suspendidas en el aire atmosférico.
Fuente Atlas Copco-Jonathan Valverde R



Si el aire ambiental se comprime se multiplica la concentración de sustancias perjudiciales

Figura 19 Fuente Festo

La calidad del aire en relación con la cantidad de partículas y la presencia de agua y de aceite está definida en la norma ISO 8573-1 como el estándar del sector para la pureza del aire. La norma ISO 8573-1 recoge los requisitos de calidad de aire comprimido y determina qué cantidad máxima de contaminantes y tamaños de partículas puede contener cada clase correspondiente. Al mismo tiempo, las normas también definen estándares comprensibles y transparentes, lo que permite que los fabricantes que cumplen con ellas tengan acceso a los mercados de todo el mundo.

Para cumplir con unos requisitos de calidad más rigurosos se añadió una nueva clase (clase 0). ISO clase 0 es la opción más limpia que puede garantizar 100 % de aire exento de aceite. Hay algunas afirmaciones erróneas en el sector en que se promueven compresores lubricados con aceite con filtros y que son llamados "técnicamente exentos de aceite"; además de indicar que la calidad del aire a menudo es mejor que la de un compresor de aire exento de aceite. Estas afirmaciones son falsas y su uso cuando se necesita la clase 0 puede provocar daños involuntarios en productos o equipos sensibles.

Por ese motivo una preparación del aire comprimido según la norma y energéticamente eficiente para soluciones de automatización exige considerar diferentes parámetros, como las clases de calidad para partículas sólidas, contenido de agua y contenido total de aceite.

La norma ISO 8573-1:2010 ofrece una definición al respecto:

ISO 8573-1:2010	Partículas sólidas			Concentración máscica	Agua		Aceite
	Cantidad máx. de partículas por m ³				Punto de condensación bajo presión de vapor	Líquido	Contenido total en aceite (líquido, aerosol y niebla)
	0,1 ... 0,5 µm	0,5 ... 1 µm	1 ... 5 µm			mg/m ³	
0	Según la definición del usuario del equipo, exigencias más elevadas que en la clase 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	–	≤ -70	–	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	–	≤ -40	–	0,1
3	–	≤ 90.000	≤ 1.000	–	≤ -20	–	1
4	–	–	≤ 10.000	–	≤ +3	–	5
5	–	–	≤ 100.000	–	≤ +7	–	–
6	–	–	–	≤ 5	≤ +10	–	–
7	–	–	–	5 ... 10	–	≤ 0,5	–
8	–	–	–	–	–	0,5 ... 5	–
9	–	–	–	–	–	5 ... 10	–
X	–	–	–	> 10	–	>10	>10

Clases de calidad del aire comprimido según la norma ISO 8573-1:2010

Tratamientos del aire

Cuando el aire comprimido contiene partículas, agua y aceite la vida útil y el funcionamiento de componentes y sistemas se ven perjudicados. Bajan, asimismo, la productividad y la eficiencia energética. Al contrario, un tratamiento acorde con las necesidades específicas de cada aplicación incrementa significativamente la seguridad del proceso y la del producto, al igual que la disponibilidad de su instalación.

La preparación del aire comprimido ayuda a minimizar daños y consecuencias. Ello la convierte en esencial para componentes neumáticos y para la seguridad del proceso en la producción. Por otro lado, cada sector y cada aplicación específica tienen sus propios requerimientos en cuanto a la calidad del aire comprimido.

La preparación del aire comprimido acorde con las necesidades evita daños



Partículas

Partículas en forma de polvo, productos de la corrosión o virutas metálicas procedentes de trabajos de transformación, etc.



Consecuencias directas:

Residuos y abrasión mecánica, por ejemplo, entre la pared del cilindro y la junta del émbolo.



Agua

El aire ambiental siempre contiene cierta cantidad de vapor de agua.



Consecuencias directas:

Corrosión de piezas cuyas partículas de óxido podrían provocar graves daños mecánicos o la obturación de pequeñas secciones de paso del flujo.



Aceite

Incluso en compresores que funcionan sin aceite, hay aerosoles eólicos aspirados de la atmósfera que contaminan los sistemas neumáticos.



Consecuencias directas:

Aglutinación de partículas y la consecuente obturación de secciones de paso. Los elastómeros, p. ej. en las juntas, podrían hincharse.

Consecuencias en el largo plazo: • Trabajos de mantenimiento y reparación más frecuentes • Fallos de funcionamiento • Vida útil más breve • Mayores costos energéticos debido a fugas

La filtración en las líneas de aire comprimido

Los filtros de línea son imprescindibles para la calidad del aire comprimido, pero al mismo tiempo son los menos atendidos en las redes de aire.

Un filtro de línea es un equipo que se utiliza para el tratamiento del aire comprimido. Su principal misión es limpiar el aire comprimido de impurezas de todo tipo, incluso bacterianas. Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos se adapta la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad del aire se realiza siguiendo los parámetros antes mencionados de la norma ISO 8573-1:2010.

Esta normativa regula el nivel máximo de contaminantes en el aire comprimido, en lo referido a la cantidad de humedad, partículas y residual de aceite.

El ambiente desde el que aspiran el aire los compresores es muy variable. Por muy limpia que parezca la atmosfera que rodea a un compresor, es seguro que puede contener algún elemento en suspensión que contamine el sistema de aire comprimido. Desde la instalación más simple hasta la más compleja, como puede ser el aire medicinal, se deben analizar los límites de contaminación máxima admisibles y seleccionar el sistema de filtrado adecuado a cada caso.

Por su aplicación se podrían clasificar así:

Prefiltros

Son los primeros filtros que se instalan después de los compresores. Su principal misión es eliminar las partículas gruesas que podrían ser aspiradas por el compresor. Son, en sí mismos, los filtros protectores de la red de filtrado que se instalan aguas abajo. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente, es decir, que pueden eliminar una pequeña cantidad de agua y aceite al mismo tiempo que eliminan las partículas sólidas. Su capacidad de filtrado suele ser superior a 1 micra y 1 mg/m³ de aceite.

Filtros intermedios

Se instalan después de los prefiltros y su misión es proteger los distintos accesorios y equipos que se instalan en la red de aire. Sus características se determinan en función de la calidad de aire requerida. Ahí se tendrá:

- Filtros de partículas. Son como los prefiltros pero de un mayor grado de filtrado. Para partículas de hasta 0,1 micras y para aceite o agua hasta 0,1 mg/m³. En la salida de los secadores de adsorción se suelen colocar estos filtros con un grado de 1 micra.
- Filtros de carbón activo. Son dedicados a la eliminación de vapores y olores de aceite. No los eliminan del todo, pero el residual que dejan es muy pequeño. Como media son de 0,003 mg/m³.
- Torres de carbón activo. Se emplean para reducir al máximo los residuales de vapor de aceite y olores con la idea de que sean usadas en sistemas de respiración humana.
- Filtros catalizadores. Son utilizados en sistemas de respiración humana para la eliminación del monóxido de carbono (CO).

Filtros finales

En este grupo se incluyen todos los filtros específicos de protección del sistema antes de su uso final. Como ejemplo, se deben considerar:

- Filtros reguladores. Son pequeños filtros que se instalan sobre la máquina de accionamiento neumático. Están formados por un filtro de partículas y por un regulador de presión. Para máquinas que necesitan lubricación el propio equipo de filtrado monta un lubricador. Estos equipos son conocidos habitualmente como unidades de mantenimiento.
- Filtros bactericidas. Son muy utilizados en aplicaciones medicinales o en laboratorios. Se utilizan para la eliminación de determinadas bacterias en el aire comprimido. Su mantenimiento requiere una esterilización periódica. Dependiendo de cada fabricante esta se puede realizar con vapor o por autoclave. Tienen una vida útil muy corta determinada por el número máximo de esterilizaciones admitidas.

La estructura de los filtros es muy similar entre los distintos fabricantes. Cambia principalmente el diseño interno para mejorar las pérdidas de carga, la calidad de los materiales de los elementos filtrantes, el grado de eficiencia y el diseño del propio elemento.

De la sección de un conjunto de filtros del fabricante Kaeser se explican a continuación las partes principales:



Figura 20 conjunto de Filtros, "marca: Kaeser"

1. El cuerpo. Fabricado en distintos materiales, suele ser de fundición de aluminio. Está dividido en dos partes. La superior incluye las conexiones a la tubería y la inferior es desmontable para poder cambiar el elemento filtrante. Se pueden suministrar fabricados de acero y en ejecuciones especiales de acero inoxidable.
2. Elemento filtrante. Es la parte clave del filtro. Según su diseño podrá ser usado para diferentes trabajos. Es muy importante conocer su eficiencia, el tamaño de las partículas y su capacidad de coalescencia.
3. Sistema de purga del condensado. En la sección se puede observar una purga interna de boya que actúa por flotación sobre el condensado acumulado en la parte inferior. Pueden ser suministrada por otro tipo de purgas diferentes como electrónicas, capacitivas o manuales.

4. Manómetro de presión diferencial. Este accesorio indicará el nivel de suciedad que tiene el elemento filtrante. Existen muchos modelos diferentes con contactos libres de tensión para alarmas o transmisión del valor de la presión diferencial, mediante una señal de 4 a 20 miliamperios.

5. Sistema de conexión modular. Es muy útil cuando en una misma instalación se pueden juntar prefiltros y posfiltros, porque facilita el montaje y reduce las pérdidas de carga.

6. Indicador de nivel de líquido. En las últimas generaciones de filtros no se suelen incluir debido a la fragilidad del indicador y al riesgo de fugas, pero son de gran utilidad para saber si el sistema de purga está funcionando correctamente.

Tanques de almacenamiento (calderín) y depósitos auxiliares.

Toda instalación de aire comprimido debe disponer de un depósito de aire a presión entre él y la red de distribución, procurando evitar las distancias largas en el compresor y en el depósito.

La función de los depósitos de aire es:

- Equilibrar las pulsaciones de aire procedentes del compresor.
- Acumular aire comprimido
- Actuar de distanciador de los períodos de regulación: carga-vacío o carga parada
- Refrigerar el aire, y recoger el aceite y el agua condensada.

No se debe confundir un depósito con una fuente de energía por aire, pues cuando el depósito actúa de acumulador (si se dispone de reserva de aire suficiente) es para atender una demanda de aire “instantáneo” y no para suministrar aire continuamente. Tampoco es recomendable conectar varios compresores a un solo depósito. Lo que sí es conveniente en muchos de los casos es instalar uno o más recipientes después del depósito principal. (Enrique Carnicer, 1991)

Depósito auxiliar de aire

Al proyectar la instalación de aire comprimido no hay que pensar en ahorrar energía neumática colocando diversos calderines auxiliares, los cuales son para almacenar aire comprimido, en diferentes lugares de la planta industrial.

Es un error bastante extendido creer que se puede compensar la insuficiencia de caudal de aire de un compresor aumentando la capacidad de reserva de aire por medio de calderines. El depósito de aire tiene como misión regular el caudal y evitar los cambios bruscos de presión en caso de funcionamiento simultáneo de un cierto número de herramientas. Pero, si el coeficiente de utilización de las herramientas se ha estimado demasiado bajo y si, además, el compresor se ha elegido por debajo del mínimo aceptable, no se consigue nada práctico al colocar depósitos auxiliares de aire, ya que no se puede almacenar por no haber suficiente aire con el abastecimiento dado por el compresor. Por otro lado, si la red está bien dimensionada o, mejor aún, sobredimensionada, ella misma hará de calderín regulador y, si el compresor de aire es suficiente para toda la planta, sí es innecesario situar calderines auxiliares.

Lo mismo ocurre si para paliar la falta de aire suministrado se recurre a una elevación de la presión de trabajo. Ello no tendrá otro resultado que aumentar un poco la reserva de aire, pero al precio de un gasto suplementario sensible en kW. Además, hay que considerar que no todas las herramientas han sido diseñadas para poder soportar una elevación de presión por encima de la presión normal de trabajo. Sin embargo, hay casos típicos en que sí puede ser aconsejable disponer de un calderín auxiliar cerca del punto de utilización. Son aquellos en que se requiere un gran volumen de aire durante un corto período y, al disponer la máquina de una suficiente capacidad de almacenamiento, habría que dimensionar la tubería de suministro exageradamente para que pudiera ella misma almacenar el aire requerido. (Enrique Carnicer, 1991)

Capacidad de los depósitos

Mantener el almacenamiento adecuado para cubrir las fluctuaciones de la demanda se aplica para todos los compresores, independientemente de su tipo de control, ya que todos los compresores requieren un tiempo para reaccionar ante los cambios de demanda. Esto incluye compresores con tipo de control frecuencia variable, modulación, dual o carga-descarga.

Los compresores, como son con tipo de control dual, para su correcta operación dependen de la cantidad de almacenamiento mínima para limitar la frecuencia máxima de sus ciclos carga-descarga. Es por ello por lo que asegurando el

almacenamiento mínimo requerido se reducirá significativamente el número de ciclos hechos por estos compresores para satisfacer la demanda y la presión.

Reducir estos ciclos impacta en el número de activaciones de los componentes de control del compresor, lo que causa menor desgaste en válvulas y empaques, así como en la reducción de cargas axiales ejercidas en los cojinetes de los rotores de las unidades de compresión.

El tiempo de servicio de las unidades de compresión está relacionado directamente con el ciclo de servicio de los cojinetes, el ciclo de servicio establecido por los fabricantes con base en las magnitudes y direcciones de las cargas, los esfuerzos y la fatiga, las velocidades de giro y la temperatura de operación del rodamiento.

Parámetros de operación:

- Ciclos carga-descarga en compresores de hasta 18,6KW (25hp) de potencia nominal: 72 ciclos / hora
- Ciclos carga-descarga en compresores de hasta 75KW (100hp) de potencia nominal: 36 ciclos / hora
- Ciclos carga-descarga en compresores de hasta 335KW (450hp) de potencia nominal: 18 ciclos / hora

Para cumplir con estos ciclos de carga-descarga es necesario seleccionar el tanque de almacenamiento correcto, cuya capacidad se puede calcular de acuerdo con la siguiente fórmula:

Ecuación 1 Capacidad de un tanque:

$$VR = \frac{V1 \times (DF - DF^2)}{(Z \times Dp)}$$

Donde:

VR = Volumen real del tanque en [m³]

V1 = Flujo de aire del compresor [m³/h]

V2 = Demanda de aire de la planta [m³/h]

Z= Número de ciclos carga – descarga permitidos por hora del compresor.

Dp = Diferencial de presión del compresor [bar]

DF = V2 / V1 = factor de carga.

Para el caso de cuando se desconoce la demanda de aire de la planta (V2) el valor de factor de carga (DF) de 0,5 representa el caso crítico, lo que representa que la demanda de la planta es de 50% de la capacidad del compresor. Sin embargo, con base en la experiencia y como un valor empírico, el valor de factor de carga (DF) se puede considerar de 0,5 para equipos de 3 – 18,6KW (25hp), 0,79 para equipos de 22,3KW (30Hp) -- 75KW (100hp), y 0,885 para equipos de 93KW (125Hp) – 335KW (450hp).

Por otro lado, el control del compresor no es capaz de ajustar por sí solo los ciclos de carga-descarga, por lo que para llevar a cabo esto es necesario considerar un ajuste de presión al control del compresor, cuyo valor para este análisis es basado en una presión diferencial de 0,703 Kg/cm² (10 PSIG) (0,689 BAR).

(Fuente: Kaiser)

Distribución de aire comprimido

Todas aquellas tuberías que se encargan de llevar el aire comprimido desde el depósito hasta las tomas de los consumidores individuales son las que componen la red de aire comprimido. El diseño de esta red debe asegurar que el aire llegue al usuario en la cantidad y con la presión que este necesita para trabajar de manera adecuada. Es por esto por lo que para el dimensionamiento de las tuberías se deben contemplar los siguientes criterios:

- Velocidad de circulación del aire en la tubería.
- La caída de presión en las tuberías.
- La estanqueidad de la red en conjunto.

Al ser el aire comprimido una de las maneras más utilizadas para la automatización de equipos es probable que con el crecimiento de las empresas se necesite de una mayor cantidad de aire comprimido, por lo que se deben prever las posibles ampliaciones del sistema en el momento de dimensionar las tuberías, para así permitir que la cantidad de usuarios del sistema crezca sin tener pérdidas de presión excesivas y para evitar tener luego que incurrir en un gasto mayor reemplazando la red por completo. Todas las redes de aire comprimido son diferentes, pero siempre se pueden identificar cuatro tipos de tubería de acuerdo con la función con la que cumplen. Estas son:

Tubería principal: Es la línea que sale del depósito de aire comprimido y conduce la totalidad del caudal del aire.

Tubería secundaria: Toma el aire de la tubería principal y lo dirige a áreas de trabajo específicas.

Tubería de servicio. Son los tubos que alimentan los equipos neumáticos. Toman el aire de las tuberías secundarias y como en la mayoría de las ocasiones se colocan de manera vertical se conocen como bajantes. Se deben evitar tuberías de diámetro inferior a ½ pulgada, porque se pueden cegar.

Tubería de interconexión: es la que lleva el aire de la salida del bajante hasta las máquinas de procesos o equipos neumáticos.

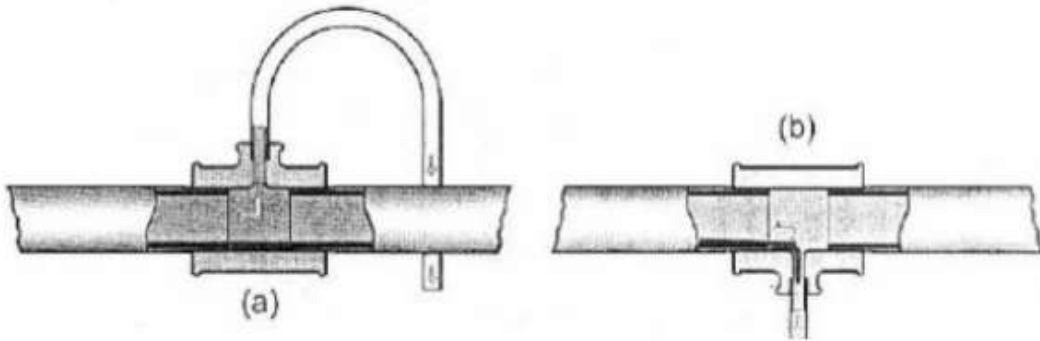
Para el diseño de la red de distribución se deben considerar aspectos como:

- Arquitectura del edificio
- Ubicación de los usuarios del sistema de aire comprimido
- Actividades dentro de la planta industrial.

Se recomienda seguir los principios que se dan a continuación:

- Para reducir las pérdidas de presión en las tuberías estas deben cumplir con los recorridos más cortos y lineales posibles, y evitar los cambios bruscos de dirección y el uso de accesorios innecesarios como codos, tees o reducciones.
- Para facilitar la inspección y el mantenimiento, se debe procurar que la tubería sea montada de manera aérea, a fin de evitar las instalaciones subterráneas, que no son prácticas para este fin.
- En el montaje es necesario contemplar que puedan hacerse variaciones de longitud producidas por dilatación térmica, sin deformaciones ni tensiones.
- Evitar que la tubería se entremezcle con conducciones eléctricas, de vapor, de gas u otras, cuando se tengan tuberías para diversos fines instaladas en paralelo. Se debe seguir el código de colores para la identificación de fluidos en tuberías INTE T2:2016.
- En una red abierta se deben inclinar las tuberías 3% en el sentido del flujo de aire, o cuando no existe un buen tratamiento del aire a la salida del compresor. Para ello también se deben colocar purgas para evacuar los condensados que se producen en la línea.
- Para aplicar mantenimiento de manera más fácil y segura se deben colocar válvulas de paso en los ramales principales y secundarios, así como se pueden aislar secciones completas de la red.

- Las tomas de servicio o bajantes nunca deben hacerse desde la parte inferior, como en la figura 21 (b), sino por la parte superior, como se muestra en la figura 21 (a), para así evitar que los condensados puedan ser recogidos por la tubería y llevados a los equipos neumáticos conectados a ella.



*Figura 21 Toma de aire de bajante en tuberías secundarias
Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E. Carnicer Royo*

- Esta toma de aire, conocida como “cuello de ganso”, depende del diámetro de la tubería de servicio que alimente.
- Atender las necesidades de tratamiento del aire y a la vez observar, si es necesario, un secado total o solo parcial.
- Prever la utilización de filtros, reguladores y lubricadores (FRL) en las tomas de servicio.

Tipos de sistema de distribución

Los parámetros claves que deciden en una instalación de aire comprimido según Enrique Carnicer (1991) son:

- Presión: la presión a la cual se desea trabajar, tanto para el caudal de aire entregado por el compresor como para el de utilización en la red.
- Caudal: el caudal de aire comprimido por suministrar por el compresor, así como el que debe circular por cada ramal de distribución.
- Pérdida de presión: la pérdida de presión o caída de presión se refiere a la pérdida de energía que se va originando en el aire comprimido ante los

diferentes obstáculos que encuentra en su desplazamiento hacia los puntos de utilización. El conseguir que la pérdida de presión esté entre los límites permisibles es fundamental en el momento de concebir una instalación de aire comprimido.

- Velocidad de circulación: también existe límite para la velocidad del aire ya que cuanto mayor sea la velocidad de circulación tanto mayor será la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación.

Sistema ramificado

En este tipo, a partir del cabezal principal se generan los ramales secundarios hacia los distintos puntos de consumo. En esencia, es igual a un sistema de ductos de distribución de aire acondicionado. Como desventaja inherente a este tipo de sistemas está el desbalanceo de la carga, que causa una mala distribución de aire, por lo que será necesario tomar en cuenta este efecto para diseñar con mayor cuidado el tamaño de las líneas de distribución.

La caída total de presión del sistema se determina tomando en cuenta el más alejado de consumo.

Sistema en anillo

En este, a partir del cabezal principal, para el suministro de aire a los usuarios finales se utiliza uno o varios lazos cerrados, con lo que se garantiza que la presión en los diversos puntos de consumo será más uniforme en cualquier condición de carga del sistema, al provenir el aire para cada equipo o herramienta desde dos puntos.

Evidentemente, se incrementa la cantidad de tubería y se disminuye la capacidad de cada línea, lo que produce caídas de presión más bajas.

Red cerrada

En la red cerrada con interconexiones hay un circuito cerrado que permite trabajar en cualquier sitio con aire, mediante las conexiones longitudinales y transversales de la tubería de aire comprimido. Ciertas tuberías de aire comprimido pueden ser bloqueadas mediante válvulas de cierre si no se necesitan o si hay que separarlas para efectuar reparaciones y trabajos de mantenimiento.

Red de aire comprimido con secador instalado a la salida del compresor, red en circuito cerrado o abierto.

Si la red de aire comprimido lleva a la salida del compresor un equipo de secado total (ya sea refrigerativo o de absorción), la red puede hacerse en circuito cerrado, como se muestra en la figura 22, pues no importa montar con pendientes las tuberías, ni cómo se efectúen las tomas; pues la ausencia de humedad en el aire comprimido hace que no aparezca agua en el lugar de trabajo. Igualmente, puede hacerse en circuito abierto, pues con un secador de humedad no interesa la forma de montaje de la red, porque este elimina el problema de condensados en la red.

La distribución en circuito cerrado permite alimentar el aire por dos lados a un punto de consumo elevado y así minimizar la caída de presión.

Cabe mencionar que cuando el circuito es cerrado la pendiente en los conductos es nula, puesto que es incierto el sentido de circulación, porque este dependerá de los consumos y por lo tanto la pendiente carece de sentido. Además, la función de tuberías con pendientes es llevar los condensados a puntos más bajos, en donde se instalan purgas para la eliminación del agua de la red. Estas purgas tienen un único sentido (entrada – salida) por lo que en redes de circuito cerrado, en donde no se conoce el sentido de circulación de aire, estas purgas no cumplen con su función.

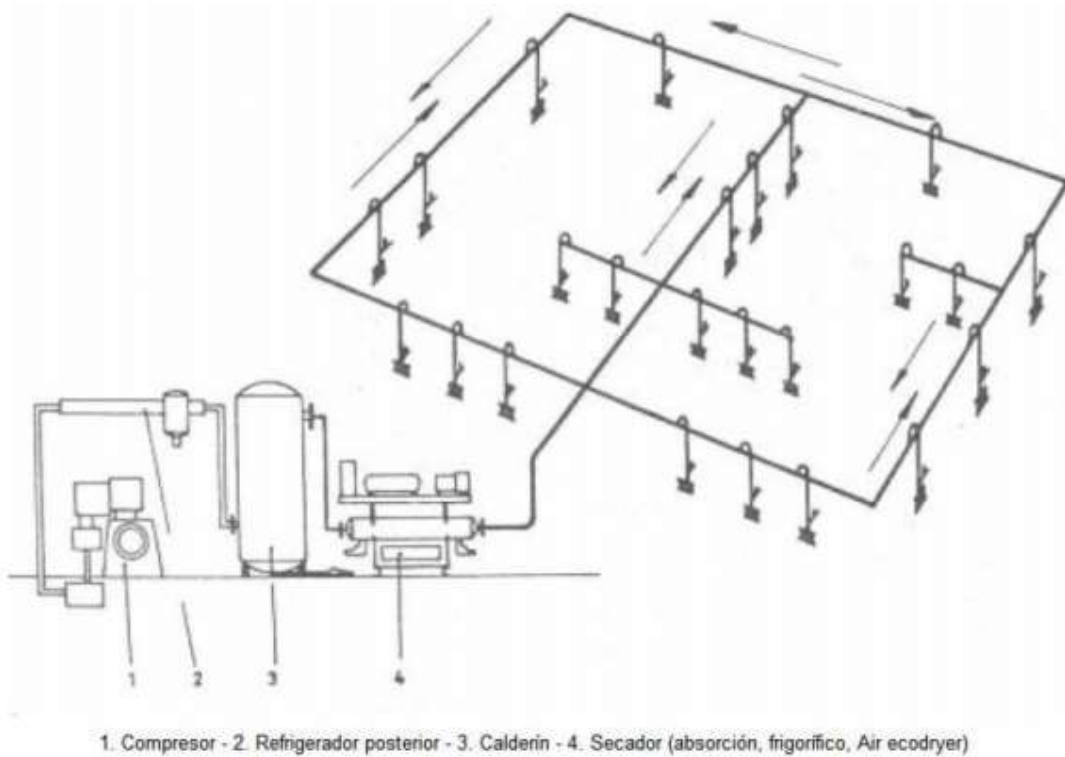


Figura 22 Red de distribución cerrada
 Fuente. Aire comprimido, Teoría y cálculo de las instalaciones, E. Carnicer Royo.

Red de aire comprimido sin secador, red en circuito abierto

La distribución del aire con un tratamiento convencional (sin secador de aire) requiere que el circuito sea abierto, con pendientes en las tuberías y purgas que permitan evacuar los condensados del sistema. Este tipo de red se muestra en la imagen siguiente:

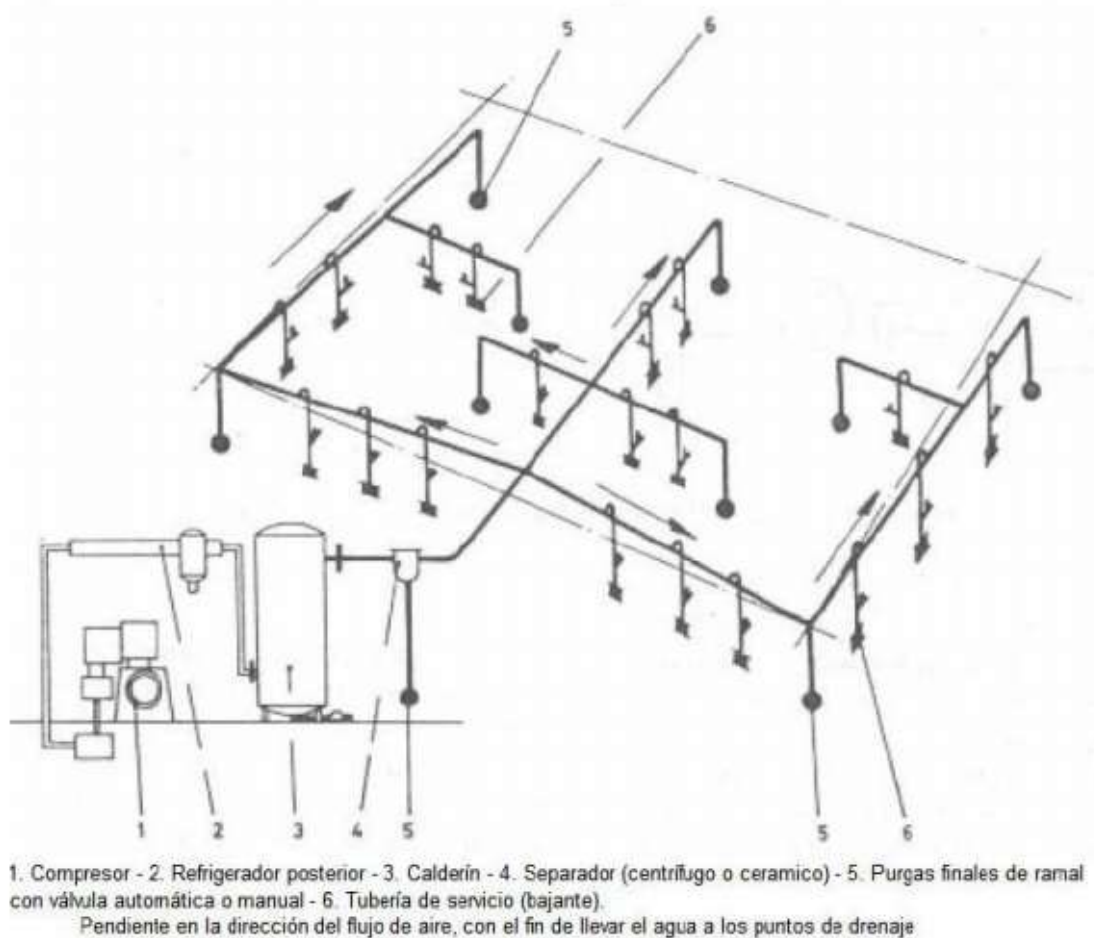


Figura 23 Diseño de una red de aire comprimido con tratamiento convencional en circuito abierto.
Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E.Carnicer Royo.

Dimensión de tuberías.

La correcta dimensión de las tuberías es clave para asegurar que el aire comprimido se va a distribuir a los usuarios con el caudal y la presión que estos requieren. Es por esto por lo que para dimensionar las tuberías se deben contemplar:

- Pérdidas por caídas de presión
- Pérdidas por fugas
- Presión de trabajo
- Futuras ampliaciones
- Caudales
- Material de la tubería

Pérdidas por caídas de presión

Por la fricción dentro de la tubería se generan pérdidas de energía que se ven reflejadas como pérdidas de presión en el sistema. Si los tramos de tubería deben abarcar largas distancias los diámetros de las tuberías deberán ser mayores para que las pérdidas de carga en las tuberías no afecten el funcionamiento de los equipos neumáticos.

Es por este motivo que no es posible mantener la presión de descarga del compresor en toda la tubería, pero sí es posible limitar las pérdidas de presión por fricción a unos valores relativamente pequeños y que sean admisibles en la práctica. Como regla se maneja que la caída de presión en las tuberías no debe sobrepasar 2%. Por esta razón las tuberías de aire comprimido deben estar dimensionadas con holgura. El costo de la sobredimensión de la red es insignificante en relación con cambiar toda la instalación.

Cuando los caudales de aire son grandes, al igual que las longitudes de tuberías, se puede aumentar la pérdida de presión hasta en 5%, pues el valor económico del material por instalar puede resultar excesivamente costoso para mantener la pérdida de presión en menos de 2%, por lo que es más rentable aumentar la pérdida de presión y ahorrar de esta forma en la inversión inicial.

Para dimensionar la tubería y mantenerse dentro del rango de pérdidas admisibles se deben evaluar los siguientes aspectos:

1. Longitud de la tubería

La caída de presión es directamente proporcional a la longitud de la tubería, por ello a mayor longitud de tubería mayor será la pérdida de carga.

2. Velocidad del aire

Cuanto mayor sea la velocidad de circulación tanto mayor será la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación, de manera que existe un límite de velocidad dependiendo del tipo de tubería que sea:

- Tubería principal: 8 m/s.
- Tubería secundaria: 10 m/s.
- Tubería de servicio: 15 m/s.
- Tubería interconexión: 20 a 30 m/s.

3. Presión absoluta

Es la presión que se obtiene de la descarga del compresor, que afecta de manera directa el valor de pérdidas de presión por fricción en tuberías.

4. Diámetro de tubería

La caída de presión es inversamente proporcional al diámetro de la tubería. El diámetro de las tuberías se determina mediante la ecuación:

Ecuación 2 Diámetro de tubería

$$D = \frac{\sqrt{100} Qd}{4,71 P V}$$

Donde:

D = Diámetro de tubería [mm]

Qd = Caudal de diseño [l/min]

P = Presión de diseño [bar]

V = Velocidad de diseño [m/s]

5. Índice de resistividad “ β ”

Es el grado medio de rugosidad variable con el caudal de aire suministrado o, en su defecto, el flujo másico, la caída de presión, es proporcional a su valor.

Ecuación 3 Índice de resistividad

$$\beta = 2,8466 (\dot{m})^{-0,1468}$$

Ecuación 4 Flujo másico

$$\dot{m} = \frac{60}{1000} Qd \rho$$

Donde:

β = Índice de resistividad

(\dot{m}) = Flujo másico [kg/h]

Qd = Caudal de diseño [l/min]

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

6. Temperatura

Expresada en Kelvin (K), se refiere a la temperatura absoluta y se supone igual a la ambiental. Es inversamente proporcional a la caída de presión en tuberías.

7. Pérdidas en accesorios

Dentro de una distribución de aire comprimido normalmente se presentan codos, variaciones de diámetro, válvulas y otros. Estos representan obstáculos que también producen una caída de presión suplementaria. Si estos elementos son pocos en la instalación puede prescindirse de calcular la pérdida de presión que producen; pero si el sistema contiene un número considerable de estos elementos es preciso tomarlos en cuenta.

Para efectos de cálculo y con el objeto de encontrar un resultado rápido con una aproximación aceptable basta con añadir, a la longitud propia de la tubería que se está calculando, un suplemento de longitud que corresponde a la pérdida de presión ocasionada por los accesorios.

Dicho suplemento de longitud se refiere a la distancia en metros a que equivale la pérdida de presión en los accesorios. El valor de esta longitud equivalente puede ser encontrado por medio de tablas destinadas para este fin.

Por otra parte, algunos diseñadores optan por agregar 10% al valor de longitud de tubería, con lo cual incluyen la pérdida de presión en accesorios.

Todos los puntos anteriores se relacionan con las pérdidas de presión en las tuberías y que se calcula mediante la ecuación:

Pérdida de presión:

Ecuación 5 Pérdida de presión

$$\Delta P = 1000 \frac{15,2 \beta Qd^2 L}{T D^5 P}$$

Donde

ΔP = Caída de presión [mbar]

β = Índice de resistividad

Qd = Caudal de diseño [l/min]

L = Longitud de la tubería [m]

P = Presión absoluta [bar]

T = Temperatura absoluta (K)

D = Diámetro de tubería [mm]

Al conocer la presión de trabajo el caudal de diseño, la longitud de la tubería, la temperatura y el índice de resistividad se puede limitar la caída de presión a un valor de entre 2% y 5% para obtener el valor de caída de presión permisible y despejar el diámetro de la tubería de la ecuación "pérdida de presión". De esta manera se obtendrá el tamaño de la tubería para asegurar una pérdida de presión permisible.

De manera más práctica también se cuenta con nomogramas que permiten de manera gráfica obtener el valor de las pérdidas de presión en las tuberías.

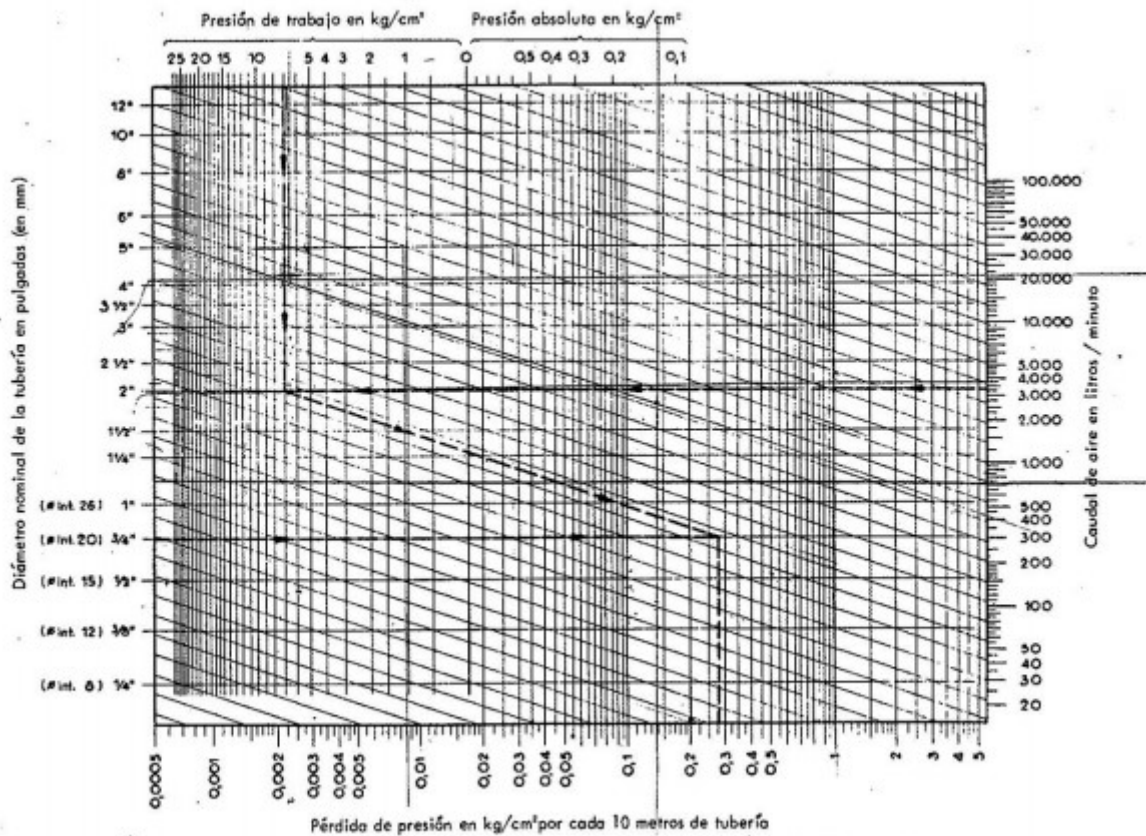


FIG. 13.1. Abaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido (Norgren).

Figura 24 Nomograma para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías.
Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E. Carnicer Royo.

Pérdidas por fugas

Al ser el aire inodoro e invisible se hace muy difícil detectar las fugas de los sistemas de aire comprimido, por lo que las pérdidas en este apartado suelen ser muy grandes si no se procura el mantenimiento adecuado.

Cuando una fuga es grande el ruido que causa la hace fácil de detectar, además de que la caída de presión que provoca hace evidente que hay un problema en el sistema y por lo tanto que se inicie la búsqueda.

Por otro lado, las fugas pequeñas suelen pasar inadvertidas al ser más difíciles de detectar en el comportamiento del sistema y en su ubicación física. Pero la suma de todas estas pequeñas fugas sí tiene un impacto en la red total de la empresa, lo que genera una pérdida importante que puede ser fácilmente controlada.

Las pérdidas por escapes en instalaciones muy antiguas o descuidadas llegan a significar entre 25% y 30% de la capacidad del compresor, mientras que los valores admisibles se encuentran por debajo de 5% y en casos muy extremos con 10% de pérdidas por fugas. Es importante anotar que el costo de mantener las pérdidas por fugas dentro de estos valores siempre es mucho menor que lo que se perdería en una red descuidada.

Presión de trabajo

Esta es la presión mínima a la que debe trabajar el sistema para asegurar la presión mínima requerida en todos los usuarios del sistema de aire comprimido. Para determinar esta presión de trabajo se debe encontrar cuál es el equipo con las condiciones más críticas de trabajo, ya sea el que trabaja a mayor presión o el que presenta mayor caída de carga en la tubería que lo alimenta. A esta línea de tubería se le conoce como ruta crítica.

Una vez que se conoce cuál es el equipo más crítico se deben sumar la presión de trabajo de ese equipo, las pérdidas en filtros y las pérdidas de presión en el secador. También se debe considerar la pérdida permisible por fricción en tuberías. De esta manera se obtiene la presión mínima de trabajo del sistema como se muestra en la ecuación, “presión absoluta de trabajo del sistema”:

$$P_{min} = (P_{trab} + P_{atm} + P_{filtros} + P_{secador})(1 + CP)$$

Donde:

P_{min} : Presión mínima requerida por el sistema [bar]

P_{trab} : Presión máxima de trabajo de los equipos [bar]

P_{atm} : Presión atmosférica [bar]

$P_{filtros}$: Caída de presión debida a filtros (si los hubiera) [bar]

$P_{secador}$: Caída de presión debido al secador (si lo hubiera) [bar]

CP : Caída de presión permitida en el sistema. [%]

Futuras ampliaciones

Al diseñar la tubería de aire comprimido es importante prever futuras ampliaciones de la red, para que cuando ellas se den no afecten las condiciones favorables ya existentes. Es por eso por lo que se toma un factor llamado de ampliación.

Se debe considerar entre 20 y 30 % de factor de ampliación aunque se pueden tomar otros valores de acuerdo con los requerimientos futuros de la empresa.

Caudales

Las tuberías deben estar diseñadas para los caudales que pasan por ellas. Así las tuberías de servicio llevarán el caudal necesario para alimentar la máquina a la que están conectadas. Las tuberías secundarias deben estar diseñadas para transportar la suma aritmética de los caudales de las tuberías de servicio que alimentan. Por último, las tuberías principales deben estar diseñadas para transportar la suma aritmética de los caudales de las tuberías secundarias que alimentan.

Además de estos caudales, que son los caudales máximos para cada tubería, se deben evaluar los factores de aplicación y de fugas para así obtener un caudal de diseño con el cual se dimensionan las tuberías, como se expresa en la ecuación "caudal de diseño.

$$Qd = Qmax(1 + ff + fa)$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño [l/min]

f_f = Factor de fugas

f_a = Factor de ampliación

Q_{max} = Caudal máximo [l/min]

El caudal específico se puede encontrar en los manuales de los equipos neumáticos, que es el requerimiento de aire libre que los fabricantes indican como necesario para el funcionamiento normal del equipo.

En aquellas máquinas que tienen cilindros neumáticos y cuando su manual no indica el consumo específico este se puede determinar por medio de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 8 Para cilindros de simple efecto

$$Q = s n q$$

Donde

Q = Consumo de aire total [NI/min]... (N= normal)

q = Consumo de aire por centímetro de carrera [NI/min] (Ver la tabla 9 en el anexo 1)

s = Carrera en centímetros

n = Número de carreras por minuto.

Ahorro de energía

El ahorro de energía en los últimos años ha jugado un papel de suma importancia dentro de la industria, cuando la competitividad y la mejora continua retan cada día más.

Sin embargo, en Centroamérica los indicadores energéticos (producción entre unidad de energía) siguen siendo altos comparados con los respectivos valores de los países altamente industrializados. Mejorar estos indicadores depende de que se aproveche al máximo la energía que se requiere en los procesos de producción.

Probablemente la parte de mayor importancia para el ahorro de energía sea el diagnóstico energético, puesto que de la certeza y atención con que se haga dependerá el éxito de las medidas que posteriormente se apliquen. Por el contrario,

el pretender ahorrar energía sin haber pasado antes por un diagnóstico energético suele llevar a fracasos o gastos innecesarios.

La administración de la energía en cualquiera de sus manifestaciones repercute directamente en los costos de producción. El proceso de administración de los recursos energéticos consiste en la aplicación de las diversas técnicas que permitan alcanzar la máxima eficiencia en el uso de estos. Es decir, hay que utilizar de manera óptima y adecuada cada oportunidad en la planta industrial, y en el momento actual principalmente el sistema de aire comprimido de la empresa. En esta sección se proporcionarán los elementos necesarios para realizar diagnósticos energéticos de instalaciones diversas.

Para mejorar la eficiencia energética de la instalación en su totalidad se deben cubrir las siguientes etapas:

- Director o gestor energético
- Diagnóstico
 - ❖ Planeación
 - ❖ Organización
 - ❖ Integración
 - ❖ Desarrollo.

- Control

Director o gestor energético. El control consiste en delegar la autoridad necesaria en una persona responsable que promueva e impulse el uso racional y eficiente de la energía dentro de la empresa y la comunidad que en ella labora. Tendrá que diseñar y ejecutar un programa con metas concretas, reales y alcanzables según un calendario específico. Igualmente, se deben definir los mecanismos de supervisión y los medios de comunicación como los componentes esenciales del programa.

Diagnóstico. Se refiere a la etapa fundamental de la gestión energética e implica el análisis histórico del uso de energía relacionado con los niveles de producción y con el estudio detallado de las condiciones de diseño y operación de los equipos, sistemas y procesos involucrados en la actividad industrial o empresarial. En el diagnóstico energético se deben proponer las acciones y medidas correctivas que han de aplicarse para superar las condiciones actuales de operación energética. También se establece la factibilidad técnica y económica de realizarlas, así como la evaluación económica respectiva, considerando también determinando los parámetros de rentabilidad de cada acción.

Planeación. Consiste en elegir la alternativa concreta de acción por seguir, las políticas en materia de energía, el tiempo de ejecución, el propósito de lograr los

objetivos. Por último, se determina el monto de recursos financieros necesario para la aplicación del programa.

Organización. En esta etapa se define la estructura que permita “instrumentar” el programa establecido. Aquí es necesario especificar las funciones de todos los grupos e individuos que vayan a participar en el programa de ahorro de energía.

Integración. Consiste en elegir a la persona o grupos de personas que van a ser los responsables de la ejecución del programa, así como de la adquisición de la “instrumentación” y el equipo necesario para la realización del diagnóstico y para monitorear los avances del programa.

En esta etapa se establecen normas de consumo de energía, de mantenimiento y de operación, así como el método que permita dar seguimiento permanente al programa. Todo ello mediante monitoreo mediante un sistema integral de información energética y listas de verificación de la aplicación de medidas de ahorro de energía.

Tipos de diagnóstico energéticos

Los diagnósticos energéticos permiten determinar con exactitud el balance de energía de los principales equipos consumidores de ella. Por medio de los diagnósticos se identifican los puntos del proceso de mayor uso de energía, haciendo resaltar aquellos en los que esta se desperdicia y en los que es posible generar un ahorro (potenciales de ahorro de energía).

En resumen, los objetivos principales de un diagnóstico energético son:

- ❖ Establecer metas de ahorro de energía,
- ❖ diseñar y aplicar sistemas integrales para el ahorro de energía,
- ❖ evaluar técnica y económicamente las medidas de ahorro de energía,
- ❖ disminuir el consumo de energía sin afectar negativamente los niveles y condiciones de producción.

Clasificación de diagnósticos de energía

La clasificación que se asigna a un diagnóstico energético está en función de la profundidad con que se estudia a una empresa; es decir, depende del volumen de trabajo, el enfoque, la precisión buscada y el costo asignado. Reconocidos expertos los clasifican como de primer, segundo y tercer nivel.

El **diagnóstico de nivel uno o básico** se lleva a cabo mediante un examen visual del proceso industrial o instalación de que se trate, reconociendo y revisando el diseño original de los equipos consumidores de energía, para dar una idea de los

potenciales de ahorro de energía que se pueden lograr por modificación en los hábitos de operación, corrección de desperdicios o por la incorporación de tecnologías eficientes. De este diagnóstico se pueden obtener buenas recomendaciones en general. Por ejemplo, fugas de energía, mala operación de los equipos o instrumentos son equipos que pueden reemplazarse por otros más eficientes, como motores, compresores, aires acondicionados, luces, etc.

Pero los potenciales de ahorro de energía son meramente estimados y descansan en muchas suposiciones, por lo cual los ahorros pueden o no lograrse, ya que en este nivel no se realizan mediciones y apenas se obtiene un conocimiento muy somero de las instalaciones energéticas.

Su principal ventaja es dar una idea general de si existe o no posibilidad de ahorro energético. Este nivel tiene un costo económico que es el de menor costo respecto de los de niveles superiores.

El nivel dos o fundamental proporciona información sobre el consumo de energía tanto eléctrica como térmica por áreas funcionales o procesos específicos de operación, es decir, se detectan los subsistemas de mayor desperdicio energético. Este nivel provee datos acerca del ahorro de energía y, en consecuencia, de reducción de costos. Como consecuencia de su realización se obtiene una cartera de proyectos de aplicación y se logra de esta forma encontrar el camino de las metas para ahorro energético.

Es el más útil para conocer las potencialidades de ahorro de energía de una instalación. Estos se cualifican y se cuantifican. Se analiza entre 75 y 80% de los consumidores energéticos, dando prioridad a los de potencia superior y mayor tiempo de utilización.

A este nivel, en la aplicación del diagnóstico será importante contar con los equipos e instrumentos necesarios para la evaluación de parámetros energéticos que lleven a determinar los potenciales de ahorro de energía.

El último, el **nivel tres**, proporciona información precisa y comprensible de todos y cada uno de los puntos relevantes del diagrama del proceso industrial o de cualquier instalación por evaluar, así como de las pérdidas de energía de cada uno de los equipos involucrados. Este nivel está caracterizado por instrumentación extensiva, por la adquisición de datos y por los estudios de ingeniería involucrada. Se aclara que muchas de las acciones propuestas para lograr ahorro de energía son producto de reingeniería de los procesos.

Este tipo de diagnóstico es llamado micro diagnóstico, ya que en él se profundiza en el proceso y en los equipos involucrados en este. Requiere la participación de especialistas particulares para el caso de aplicaciones complejas. Su costo es mucho mayor que el de segundo nivel.

El nivel del diagnóstico energético no es estricto pues en muchos casos se puede aplicar un estudio a una sola parte o etapa del proceso. Debido a estos surgen niveles intermedios, es decir, aquellos que cubren ciertos objetivos y alcances para un área específica de proceso o instalación. Por ejemplo, surgen los niveles intermedios, como 1.5, el cual cubre gran parte del nivel dos; pero enfocado en una parte del proceso para lograr los balances de materia y energía de esta área. Se deben proporcionar datos de los equipos que tengan una participación indirecta en el equipo en estudio o análisis.

Metodología para realizar un diagnóstico energético

La metodología de un diagnóstico energético no es una receta definida; sin embargo, los puntos estratégicos para determinar los potenciales de ahorro de energía pueden ser los siguientes:

- Localizar trabajos previos de gabinete.
- Recopilar información relativa a la instalación.
- Evaluar el estado energético actual de la instalación.
- Determinar el potencial de ahorro de energía.
- Analizar la factibilidad técnica de aplicar las propuestas de ahorro de energía.
- Evaluar el aspecto económico.
- Seleccionar las medidas ahorradoras por implementar.
- Aplica acciones correctivas.

Trabajos previos

En este primer punto de la metodología principalmente se diseña la estrategia de trabajo. En virtud del tipo de instalación por diagnosticar se recopila la información energética que caracteriza al usuario. Adicionalmente, se estudia el entorno en el que se elabora el diagnóstico. Se obtienen los costos de las tarifas eléctricas y de los demás energéticos empleados, así como los criterios de aprobación de proyectos de la dirección de la empresa.

Por ejemplo, se diseñará una estrategia para analizar los siguientes equipos:

- ❖ Cambiadores de calor,
- ❖ bombas,
- ❖ calderas,
- ❖ enfriadores,
- ❖ compresores,
- ❖ transformadores,
- ❖ motores eléctricos,
- ❖ sistemas de iluminación,
- ❖ sistema de aire comprimido,

- ❖ aire acondicionado,
- ❖ procesos,
- ❖ etc.

Ya conocidos los procesos y equipos se identificarán las principales variables energéticas por medir en la empresa. Se determinarán los balances de materia y energía mejor aplicables para cada proceso o equipo. Y se definirán los métodos de cálculo de las eficiencias energéticas por procesos, sistemas y equipos.

Antes de hacer cálculos es importante conocer los costos de la energía. En el país existen varios proveedores de energía eléctrica (CONELÉCTRICAS, R.L, COOPELESCA, R.L, COOPESANTOS, R.L, ESPH, JASEC, COOPEGUANACASTE, R.L, COOPEALFARORUIZ, R.L) y diversos tipos de tarifas para los distintos servicios que se tienen, como: servicios de distribución dirigida al usuario final, servicios de transmisión, residencial, comercio y servicios, industrial, preferencial de carácter social, mediana tensión, entre otras.

En el caso del ICE dentro de los servicios de distribución hay varios tipos de tarifas: residencial, general, industrial, preferencial, de pequeño comercio o industrial, de mediana tensión, y tarifas horarias, las cuales se detallan en el anexo 2 de las tarifas eléctricas del ICE.

Recopilación de la información

Esta es la etapa más importante del trabajo, puesto que el éxito del proyecto tendrá como primer antecedente el estudio de una ingeniería de campo confiable, en la que se cualifique y cuantifique la distribución de la energía en la instalación. Durante esta etapa se recopilará la información por equipos. Además, se harán las mediciones que sean necesarias para la evaluación. Se utilizarán los planos, los listados, las estadísticas, etc. con que cuente la empresa, tales como:

- ❖ Instalaciones eléctricas de fuerza y alumbrado;
- ❖ diagramas de procesos;
- ❖ diagramas de líneas de distribución de vapor;
- ❖ diagramas de líneas de recuperación de condensados;
- ❖ diagramas de los sistemas de manejo de combustibles;
- ❖ diagramas de líneas de distribución de aire comprimido;
- ❖ listado de los principales equipos;
- ❖ características de diseño de los equipos objeto del presente diagnóstico;
- ❖ estadísticas de la producción;
- ❖ costumbres de operación de la instalación, área, proceso, equipo;
- ❖ recibos eléctricos.

Los levantamientos se realizan de las principales variables energéticas en procesos, sistemas y equipos, tales como:

- ❖ kW
- ❖ kWh
- ❖ Corriente eléctrica
- ❖ Voltaje
- ❖ kVAR
- ❖ kVARh
- ❖ Factor de potencia
- ❖ Temperatura
- ❖ Presión
- ❖ Composición de gases de combustión.
- ❖ Humedad
- ❖ Velocidad del aire
- ❖ Flujo de fluidos (refrigerante, agua, vapor, aire), etc.

Con ellas se podrá evaluar la operación actual de los equipos y procesos de la empresa.

Las mediciones se realizarán con la ayuda de los siguientes equipos:

- ❖ Analizador de redes eléctricas programable, que mide, calcula y registra en memoria (o impresora) los principales parámetros eléctricos en sistemas monofásicos y trifásicos.
- ❖ Multímetros y potenciómetros.
- ❖ Termómetros.
- ❖ Termómetro infrarrojo y termopares para determinar la temperatura de los fluidos térmicos (aire y gases de combustión).
- ❖ Medidor de humedad.
- ❖ Medidores de flujo de ultrasonido para determinar los volúmenes de los diferentes fluidos en la planta.
- ❖ Medidor de flujo de aire
- ❖ Manómetro.
- ❖ Analizador de gases.
- ❖ Tacómetro.
- ❖ Flexómetros y telémetros.
- ❖ Luxómetros para medir los niveles de iluminación.
- ❖ Cámara acústica para la identificación de fugas de aire comprimido.

Con una buena recopilación de información en tablas pivote o similares, conteste las siguientes preguntas:

A) Describa las tendencias energéticas de la planta.

- B) Con la información presentada se realiza el análisis tarifario.
- C) ¿Alcanza a vislumbrar algunas oportunidades?
- D) ¿Es adecuado el factor de potencia con el que trabaja la empresa?

Equipos de medición

En los diagnósticos energéticos se requieren diversos instrumentos y equipos de medición. A continuación, se lista una muestra de los que pueden ser utilizados.

Analizadores de redes eléctricas

Estos instrumentos de medición de redes eléctricas son programables y miden los siguientes parámetros:

1. Corriente por fase: I1, I2, I3 y se calcula la corriente trifásica I1-2-3.
2. Voltaje entre fases: V1-2, V1-3, V2-3 y se calcula el voltaje trifásico V1-2-3.
3. Factor de potencia trifásico (F.P. trifásico)
4. Aportación de corrientes armónicas
5. Potencia Eléctrica Activa Total o trifásica (kW totales).
6. Potencia Eléctrica Reactiva Total o trifásica (kVAR).

Además, se registran en la memoria (o se usa la impresora) estos parámetros en sistemas monofásicos o trifásicos, o ambos. Puede realizarse para que las mediciones se realicen cada minuto, 5 minutos, 15 minutos durante un periodo de 24 horas; 48 horas, 72 horas, etc., e inclusive algunos de estos equipos pueden registrar cada 125 milisegundos y esto puede ser de gran utilidad para determinar el comportamiento en el arranque de algún equipo en particular.

Los analizadores de redes son una herramienta de medición muy importante para el análisis de la energía eléctrica, tal como en los siguientes puntos:

- Analizar cómo se usa la energía y el costo que esta representa.
- Análisis de la demanda máxima.
- Análisis de la calidad de la energía.
- Análisis de armónicos.
- Problemas de distribución y de los equipos eléctricos
- Índice de carga de transformadores.

- Análisis de motores eléctricos.
- Para la localización de fallas antes de que estos se vuelvan costosos o perjudiciales. Los problemas de difícil localización pueden ser por causa de transformador sobrecalentado, un conductor neutro sobrecargado o un tablero eléctrico vibrante.
- El analizador de redes es idóneo para el análisis y la optimización del rendimiento de los sistemas de potencia.

Ejemplos de analizadores de redes

Analizador de redes marca Fluke	Donas flexibles para corriente																
 <p>A yellow and black Fluke 435 II network analyzer. The screen displays the following data:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Phase</th> <th>V_{eff} (V)</th> <th>I_{eff} (A)</th> <th>PF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>41.0</td> <td>42.8</td> <td>0.960</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>50.5</td> <td>51.8</td> <td>0.973</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>63.5</td> <td>65.8</td> <td>0.965</td> </tr> </tbody> </table>	Phase	V _{eff} (V)	I _{eff} (A)	PF	A	41.0	42.8	0.960	B	50.5	51.8	0.973	C	63.5	65.8	0.965	 <p>A set of flexible current clamps. It includes three red clamps with yellow handles and a black cable with a grey connector.</p>
Phase	V _{eff} (V)	I _{eff} (A)	PF														
A	41.0	42.8	0.960														
B	50.5	51.8	0.973														
C	63.5	65.8	0.965														

Características generales:

- ❖ Analizador de redes
- ❖ 4 entradas de voltaje (A, B, C y Neutro)
- ❖ 4 entradas de corriente (A, B, C y Neutro)
- ❖ Detecta fugas a tierra
- ❖ Factor de potencia
- ❖ Potencia (activa, reactiva y aparente)
- ❖ Frecuencia
- ❖ Registra valores medios mínimos y máximos
- ❖ Batería interna y recargable
- ❖ Analizador de armónicos total THD e individual en corriente y voltaje
- ❖ Determina el periodo y la magnitud de la demanda máxima
- ❖ Temperatura ambiental
- ❖ Intervalos de medición

- ❖ Puerto de comunicación serial
- ❖ Diagrama de fase
- ❖ Osciloscopio
- ❖ Espectro armónico
- ❖ Consumo energético diario

Analizador de redes marca Amprobe



Características generales:

- ❖ Analizador de redes
- ❖ 4 entradas de voltaje (A, B, C y neutro)
- ❖ 4 entradas de corriente
- ❖ Sistemas monofásicos y trifásicos
- ❖ Lecturas, valores reales
- ❖ Factor de potencia
- ❖ Potencia (activa, reactiva y aparente)
- ❖ Frecuencia
- ❖ Batería interna y recargable
- ❖ Analizador de armónicos total THD
- ❖ Intervalos de medición
- ❖ Puerto de comunicación
- ❖ Lecturas gráficas en pantalla
- ❖ Software para analizar y programar

Pinzas amperimétricas



Características generales:

- ❖ Rangos de 50 mA a 7500A
- ❖ Modelos disponibles para AC y DC
- ❖ Disponibles con varias salidas para cualquier tipo de instrumentación

Equipos adicionales utilizados para realizar los diagnósticos



Termómetro Infrarrojo



Termómetro de contacto



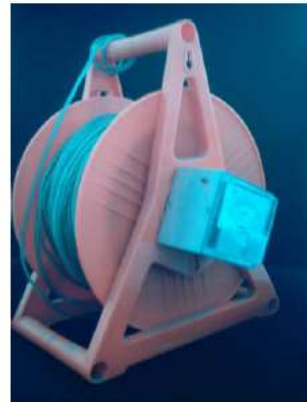
Luxómetro



Anemómetro



Higrómetro



Sonda de nivel dinámico



La cámara acústica industrial Fluke ii900 es un equipo portátil que incorpora una matriz de micrófonos que amplían el campo de visión por medio de la frecuencia en rangos de 2 KHz a 52 KHz, lo que permite a los equipos de mantenimiento localizar de manera rápida y precisa fugas de vacío, gas y aire comprimido, a distancias de 0,5m a 50m en función de las condiciones ambientales. Diseñada en especial para centros de producción con altos niveles de ruido, la nueva tecnología SoundSight™ es muy fácil de manejar y de implementar. La pantalla táctil LCD de 7 pulgadas superpone un mapa SoundMap™ sobre una imagen para identificar rápidamente el punto en donde se encuentra la fuga. La interfaz es sencilla e intuitiva y permite a los técnicos aislar la frecuencia sonora de la fuga para filtrar el ruido de fondo. El equipo podrá revisar toda la planta en cuestión de horas, en periodos de máxima actividad. Por primera vez podrá identificar las reparaciones necesarias para solucionar la fuga de aire de forma rápida y sencilla, con el fin de garantizar la eficacia de las operaciones y reducir los costos energéticos. Las imágenes se pueden guardar y exportar para generar informes. Preste a las fugas de aire la atención que merecen.

Evaluación del estado energético

Con la información obtenida de las etapas I y II, y los métodos de balance seleccionados en la etapa I, se procederá a realizar la evaluación del funcionamiento energético de los sistemas y equipos. En una primera etapa se analizarán el comportamiento histórico del consumo de energía de la empresa y su relación con la producción de esta. Así se determinarán los índices energéticos actuales de la empresa.

En una segunda fase se hará el diagnóstico de las rutinas de operación y mantenimiento, y su relación con el uso de energía. Serán señaladas todas aquellas acciones en las que se observe posibilidad de ahorro de energía.

Dentro de una tercera etapa se realizará el balance de materia y energía por sistema y procesos en la planta o inmueble, con el objetivo de conocer el tipo y la cantidad de energía requerida, así como la eficiencia de su utilización. Se evaluarán las entradas, salidas y pérdidas de energía y se identificarán por sistema. En los balances de energía por sistema se identificarán los puntos del diagrama de flujo de mayor pérdida de energía, haciendo resaltar aquellos en los que es posible generar ahorros. Además, se determinará la cantidad de energía real utilizada por producto generado y se identificarán posibles ajustes o cambios a los sistemas.

Determinación del potencial de ahorro

De acuerdo con la tarea realizada en el rubro anterior, quedarán determinados los rubros de pérdidas de mayor contribución en escala energética. Para minimizar el consumo de energía se evaluarán los potenciales de ahorro de energía, primero por la aplicación de medidas administrativas y prácticas operacionales. Segundo por prácticas eficientes y programas de mantenimiento. Se detectarán aquellas actividades que por ajuste de los sistemas y equipos tiendan a aprovechar adecuadamente la energía y también por la aplicación de alternativas tecnológicas.

En este último caso se buscará, además, una optimización energética de los sistemas y procesos, por medio de la implantación de sistemas automáticos de control; esto siempre y cuando eso sea factible desde el punto de vista técnico y económico.

Análisis de factibilidad técnica para plantear las propuestas de ahorro de energía.

Una vez identificados los potenciales de ahorro, así como las tareas necesarias para llevarlos a cabo, se procederá al análisis técnico en conjunto con el personal técnico (o comité formado) que para este fin designe la empresa. Con la finalidad de verificar que las labores anteriormente mencionadas pueden llevarse a cabo sin afectar ni la calidad ni la producción o el confort.

Evaluación económica de las medidas de ahorro

Esta etapa abarcará las siguientes actividades:

Se hará la conversión de las cantidades determinadas como ahorros de energía a su equivalente económico en dólares, y centavos.

En la primera fase de este punto se contemplan exclusivamente medidas de ajuste y corrección de los sistemas (por ejemplo, aire acondicionado, iluminación, bombeo, etc.) de las instalaciones, ya que su “instrumentación” representa erogaciones económicas relativamente bajas y los resultados son importantes en el inmediato y corto plazos.

En una segunda fase se evaluarán económicamente los ahorros derivados de la incorporación de aditamentos para el ahorro de energía.

En la tercera fase se determinarán los ahorros económicos procedentes de la sustitución de equipos actuales por los de mejor eficiencia energética.

Finalmente, en la cuarta fase se cuantificarán económicamente los ahorros derivados de la modernización tecnológica de los inmuebles.

Evaluación económica

Finalmente, se hará la evaluación económica de los proyectos para determinar:

- ❖ El tiempo de recuperación simple por ahorros de energía.
- ❖ El tiempo de recuperación compuesto por ahorros totales.
- ❖ El flujo de dinero de los proyectos de acuerdo con la vida de los equipos, incluidos ahorros e inversiones.
- ❖ La tasa interna de retorno (TIR) de las inversiones de cada proyecto.
- ❖ La relación beneficio-costos (B/C) de los proyectos.

Selección de las medidas por implementar

En esta etapa se hará la clasificación jerárquica de los proyectos sobre la base del tiempo de recuperación y la tasa interna de retorno. El tiempo de recuperación es una medida de liquidez que no vislumbra la verdadera rentabilidad de los proyectos. La tasa interna de retorno mide la rentabilidad de los proyectos, que puede ser comparada con la tasa mínima atractiva de la misma empresa, la tasa que generan otros proyectos de inversión, y el valor del dinero de los mercados financieros.

Aplicación de las acciones

Finalmente, ya determinados los potenciales de ahorro y evaluado este desde el punto de vista energético y monetario, es decir, el ahorro de energía y económico estimado por medida de ahorro y estimada la inversión requerida para llevar a cabo dicha acción, el paso que sigue es implementar las medidas que sean más atractivas y que respondan a las expectativas y políticas de la empresa.

Sin embargo, las medidas de ahorro pueden implementarse de manera paulatina de acuerdo con la cartera de proyectos previamente establecida, e inclusive si el industrial o empresario está decidido a modernizarse tecnológicamente las acciones pueden aun ser de largo plazo. Desde luego, la planta o proceso productivo será mucho más eficiente y podrá competir en mejor forma en el mercado nacional e inclusive internacional.

Capítulo 4: Marco metodológico

Enfoque de la investigación

Carlos Muñoz Razo, en su libro *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, menciona tres tipos de enfoque: cuantitativo de investigación, cualitativo de investigación y enfoque mixto de la investigación (cuantitativo y cualitativo). En este proyecto se empleará un enfoque mixto. De esta forma se permite que en el planteamiento del problema, en la forma y en las técnicas para recopilar los datos, y en el análisis e interpretación de resultados, se utilicen indistintamente ambos enfoques. De esta manera se logra una perspectiva más precisa del fenómeno que ayuda a clarificar y formular mejor el planteamiento del problema. Cabe aclarar que, aunque ambos enfoques parecen irreconciliables y opuestos entre sí, en la práctica sí es posible el uso de ambos métodos de investigación en función del tratamiento que se haga del tema objeto de estudio. (Muñoz Razo, 2011, p. 22)

En el presente trabajo se busca establecer un ordenamiento secuencial de los pasos necesarios para alcanzar de la manera más eficaz los objetivos de dicho proyecto, como el abordaje de los conocimientos y herramientas teóricas; así como elaborar la propuesta final para la ejecución práctica del proyecto; en este caso enfocada en un sistema de aire comprimido.

En la investigación de campo se toman como fuente principal de información los datos medidos recolectados directamente en sitio usando equipo tecnológico.

Método de la investigación

Carlos Muñoz Razo, en su citado libro *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* menciona tres tipos de métodos de investigación: investigación documental (teórica), investigación de campo (práctica) y la combinada de investigación documental y de campo.

Por su parte, el aprovechamiento y la eficiencia en la utilización de los recursos del sistema de generación de aire comprimido se relaciona con un método de investigación de campo (práctico) definido como... ////////////////

Son estas las investigaciones en las cuales la recopilación de información se realiza dentro del ambiente específico dentro del cual se presenta el hecho o fenómeno de estudio. En la realización de estos trabajos de tesis se utilizan los métodos de investigación específicos para la disciplina de estudios y también se diseñan ciertas técnicas e instrumentos para recabar información en el medio en el que interactúa el fenómeno bajo estudio. Para la tabulación y el análisis de la información obtenida se utilizan métodos y técnicas estadístico-matemáticos que ayudan a concentrar, interpretar y alcanzar conclusiones formales científicamente comprobadas. (Muñoz Razo, 2011, p. 14)

En resumen, son trabajos de investigación en los que se sigue un método comprobado de recopilación, tabulación y análisis de la información que se obtiene y comprueba directamente en el campo en el que se presenta el hecho bajo estudio.

En este proyecto se utilizó el modelo de investigación combinada documental y de campo como herramienta para ejecutar las acciones de cada etapa. Este modelo establece una serie de procesos necesarios que se deben cumplir para mejorar el desempeño energético de una planta. Para hacer este diagnóstico se utilizó la información recolectada mediante instrumentos de medición en campo, los cuales estuvieron conectados a los tableros de alimentación de cada sección en estudio y se duró un tiempo significativo para dicha compilación de datos.

Con la teoría expuesta en el marco teórico se llegará a demostrar que el nuevo diseño y el seguimiento de rutinas lo convertirán en un sistema más eficiente que el conjunto actual. La comparación de los valores actuales y recalculados serán referenciados por datos numéricos.

Fuentes de información

En la elaboración de este proyecto se utilizaron fuentes tales como: software de diseño, software de los equipos analizadores de datos, conocimiento práctico de ingenieros expertos en los temas de aire comprimido, información por parte de la empresa suplidora de equipos (tales como FONT, Kaeser, Festo, Elvatron, etc), datos referentes a precio de energía publicados en La Gaceta, datos técnicos referentes a tarifas del ICE para tipos de industria e información documentada que se obtiene a partir de publicaciones, ensayos, tesis, antologías y demás que suministren la información necesaria para realizar cálculos y obtener conclusiones.

Variables o unidades de análisis

La eficiencia del sistema actual y los consumos de potencia se obtendrán con los equipos de medición en cuanto a magnitudes de tiempo, presión, voltaje, frecuencia, potencia y corriente eléctrica. Los datos del nuevo diseño serán calculados a partir de los diferentes métodos expuestos en el marco teórico, como caudal, caídas de presión, pérdida por fugas y potencia eléctrica. Las mejoras serán descritas a partir de observaciones en las que se evaluarán nuevos compuestos que mejoren la eficiencia del sistema de aire comprimido.

Con el fin de aprovechar las mediciones de las variables eléctricas se procede a definir un indicador válido para monitorear en el tiempo la eficiencia de los equipos generadores de aire comprimido.

Las variables que utilizan los equipo Fluke están descritas en el marco teórico.

Indicadores financieros

En este proyecto se van a utilizar dos indicadores financieros sencillos para clarificar la factibilidad económica que presenta este proyecto, ROI y PRI.

ROI Procedente del inglés *return on investment*. En español se habla del “retorno de la inversión”. El ROI es una ratio que se calcula restándole al beneficio obtenido en una inversión (o que se planea obtener) el costo de esta y dividiendo este resultado entre el mismo costo.

El retorno de la inversión (ROI) se calculará por medio de la siguiente fórmula con la cual se mide el rendimiento de una inversión:

$$ROI = \frac{(\text{Ahorro Generado} - \text{Costo de la inversión})}{\text{Costo de la inversión}}$$

Cuanto más altos sean los valores del ROI mayor rendimiento se le habrá sacado a la inversión o se le planea sacar en un proyecto futuro. Por el contrario, si el ROI muestra resultados negativos eso indicará que la inversión no está siendo rentable o que no lo será en un futuro; por lo que se estaría perdiendo dinero o se estima que se perderá. El ROI es uno de los principales indicadores utilizados en la evaluación de un proyecto de inversión.

PRI El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un criterio para valorar inversiones, que queda definido como el periodo que se requiere para recuperar el capital invertido en la fase inicial de un proyecto.

Gracias a este método se podrá saber el número de periodo -que generalmente se ofrece en años- que se tardará en recuperar el dinero invertido como capital inicial para poner en marcha una actividad económica. Se trata de información que resulta vital a la hora de decidir realizar una inversión.

El periodo de recuperación de la inversión inicial se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Costo de la inversión inicial}}{\text{Ahorro generado}}$$

Costos de inversión:

Los costos de inversión, llamados también costos preoperativos, corresponden a aquellos en que se incurre para la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, ponerlo "en marcha" u operativo. Para decirlo de una forma sencilla, son todos aquellos costos que se dan desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta poco antes de la producción del primer producto o servicio.

La etapa preoperativa es aquella en la que se generan los costos de inversión y comprende los siguientes costos (con variaciones dependiendo del tipo de proyecto): estudios de factibilidad, estudios definitivos (ingeniería conceptual, ingeniería de detalle), planos y licencias, terrenos, edificios, instalaciones fijas, bienes de capital (aquellos que sirven para la producción de otros bienes, como maquinaria y equipos); y mobiliario, entre otros. Adicionalmente, en la etapa preoperativa se debe contar con el capital de trabajo y con el fondo de maniobra que sirve para costear los activos corrientes y que harán posible el inicio de la etapa operativa del proyecto.

Instrumentos

Como la investigación es de tipo mixto la información teórica se tomará de manuales, guías de usuario y libros teóricos sobre la materia en cuestión. Para determinar las condiciones actuales del diseño los datos obtenidos en el campo serán determinados por equipos de medición, como son: manómetro analógico, manómetros digitales. Para la medición de las variables eléctricas así como de la calidad de la energía se utilizará el equipo marca Fluke 1735. Para las mediciones de fugas de aire se usará la cámara acústica industrial Fluke ii900.

Proceso para la recolección y el análisis de datos

Para la recolección y el análisis de datos se emplearán herramientas tales como hojas de Excel y el analizador de los softwares especializados de Fluke, el informe de la rutina de inspección de fugas que entregará el proveedor asignado a la inspección, lo mismo que el informe de cumplimiento de rutinas del programa interno de la compañía (SAP).

Diagnóstico

Para comenzar a realizar este trabajo primero que nada se debe dejar muy claro que el producto final es un trabajo meramente de diseño. Más bien es una herramienta informativa para generar ahorro en un sistema de aire comprimido ya existente, acerca del cual se hacen consideraciones y se realizan actividades necesarias para implantar sistemas de ahorro de energía eléctrica producto de buenas prácticas en el uso del aire comprimido, e igualmente se hace una propuesta de mejora en lo que respecta al mantenimiento preventivo de las redes neumáticas.

La planta ya contaba previamente con toda la estructura de su red de distribución y sus compresores, por lo que el enfoque fue sobre la eficiencia de lo actual y la de una implementación en el sector de la generación de aire comprimido, buscando lograr uno de los objetivos de ahorro de 5% del consumo de energía eléctrica.

Esta planta está dividida en dos grandes áreas productivas y cada una de estas áreas cuenta con su propia red de aire comprimido. Estas dos zonas son llamadas planta productiva de inyección y planta productiva de extrusión. La planta de inyección cuenta con cuatro compresores pequeños de 18,6 KW (25Hp) cada uno y la planta de extrusión cuenta con tres compresores de la marca Sullair 74,5 KW (100Hp), 56KW (75Hp) y 74,5KW (100Hp). Cada red suministra la alimentación del aire comprimido para las distintas plantas productiva y los sistemas también cuentan con secador de aire de la marca Sullair, filtros de partículas y un sistema robusto de tanques acumuladores de aire para suplir la demanda en las horas pico de consumo. Al estar dividida en dos plantas de proceso se puede decir que la planta de extrusión es la de mayor consumo, según consta en el levantamiento de datos mostrado en las tablas 1 y 2, que superan el consumo de la planta de inyección.

El sistema de almacenaje de aire comprimido (tanques acumuladores) tiene su capacidad distribuida de la siguiente manera: dos de 2 839 litros (750 galones) en la planta de extrusión y 1 135 litros (300 Galones) en la planta de inyección.

El sistema de secado de aire tiene una capacidad para 2 038,81m³/h (1 200 CFM) en el sector de extrusión y en el sistema de inyección tiene una capacidad de 552,17 m³/h (325 CFM)

La mayoría de los equipos que intervienen en el proceso de fabricación de tuberías y accesorios de PVC requieren aire comprimido para su funcionamiento, desde el momento en el que se preparan los compuestos hasta que se obtiene el producto final. Existen actuadores neumáticos que son indispensables para el correcto desarrollo del proceso.

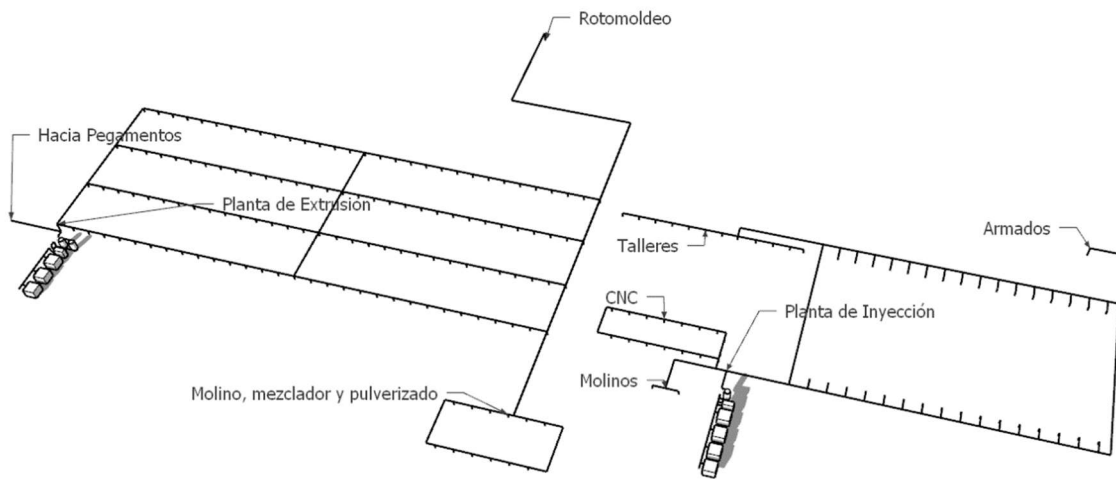


Figura 25: RED aire Durman 2017.
Fuente: Jonathan Valverde R.

Red de aire comprimido de la planta de inyección

En esta red se tienen los siguientes equipos:

1- En la generación de aire comprimido:

- a- Compresor 1 Quincy Modelo 25
- b- Compresor 2 Ingersoll Rand modelo SSR-UP6-25-125
- c- Compresor 3 Ingersoll Rand modelo SSR-UP6-25-125
- d- Compresor 4 Sullair modelo LS100
- e- Secador de Aire Sullair modelo SR-325
- f- Tanque acumulador fabricado por IMAISA

2- Como grandes consumidores se tiene:

- a- 21 inyectoras de la marca Haitian
- b- 2 molinos con su correspondiente sistema de transporte, marca Paganni
- c- 1 máquina de empacado en automático.
- d- 6 líneas de codificado en línea.
- e- 1 máquina de armado de accesorios (conectores).
- f- 4 talleres (precisión, CNC, mantenimiento de inyección, mantenimiento de moldes).
- g- 2 estaciones de limpieza (soplado).

Isométrico de la red de aire comprimido de la planta de inyección

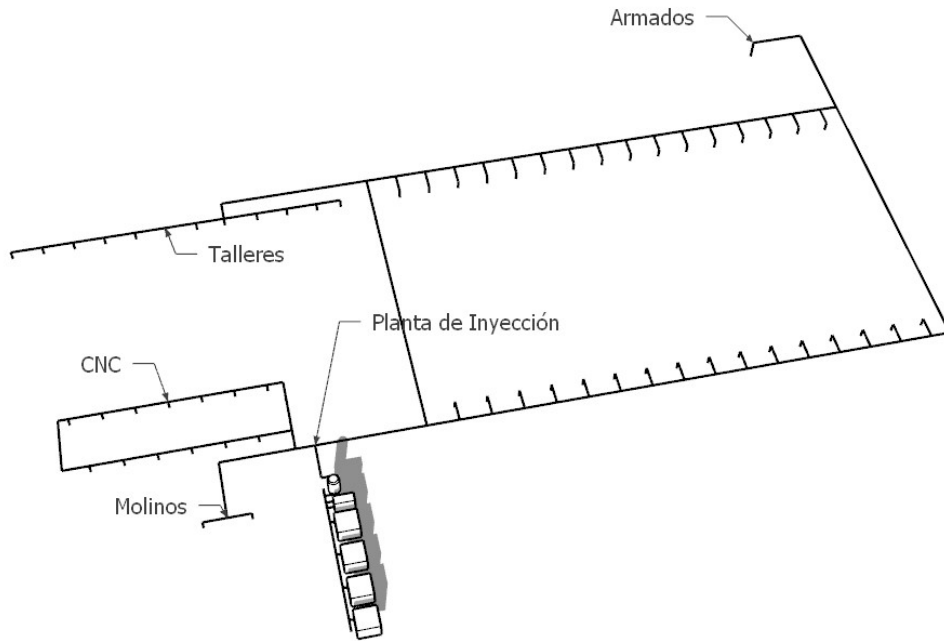


Figura 26: Isométrico de la red de aire comprimido de la planta inyección.
Fuente: Jonathan Valverde R.

Descripción del cuarto de compresores en inyección:

En el recinto destinado para la producción de aire comprimido se encuentran cuatro compresores de tornillo. Uno es de la marca Quincy, dos de ellos de la marca Ingersoll Rand y un cuarto compresor de la marca Sullair. Este conjunto de compresores tiene entre 12 y 14 años de trabajo.

El salón de los compresores cuenta con una buena ubicación para el ingreso de aire fresco del exterior. Como se aprecia en la imagen 1 estos compresores están interconectados entre sí a una red de tubería de hierro galvanizado (HG) de 3" SCH40. Dicha red pasa por un secador de aire de la marca Sullair antes de llegar al tanque de almacenamiento de 1 135 litros (300 galones) de capacidad. Este sistema opera tres compresores a la vez y queda un respaldo. Están ajustados a una presión de descanso en 8,78 Kg/cm² (125 PSI) y a presión mínima de 8,08 Kg/cm² (115 PSI). Operan en un promedio ajustado de 8,43 Kg/cm² (120 PSI).



Imagen 1 Cuarto de Compresores de Inyección

Descripción de la red de inyección:

A la salida del cuarto de compresores se alimenta el anillo que se dirige hacia la zona productiva de inyección con una tubería de 3" de hierro galvanizado (HG) SCH40. Este anillo a su vez alimenta las máquinas de los diferentes procesos productivos y luego se deriva a tuberías secundarias que transportan el aire comprimido para que sea utilizado en los diversos procesos. Una segunda tubería sale del anillo principal exclusivamente para el taller de CNC. La presión del sistema de la red de inyección está ajustada a un criterio de "no falla", es decir, que bajo la experiencia de proceso se ajustaron las condiciones a una presión tal que ningún sistema falle. En una reunión con el personal de mantenimiento se informó que dicho criterio fue determinado empíricamente, sabiendo que en los equipos del taller de CNC (departamento de moldes nuevos) sus máquinas se alertan cuando la presión es menor de $7,03 \text{ Kg/cm}^2$ (100 PSI), por lo que el ajuste de compresores se maneja en $8,43 \text{ Kg/cm}^2$ (120 PSI).

Requerimientos de consumo teórico de aire comprimido, sector inyección:

Equipos de Inyección	Cantidad	Presión mínima de operación teórica.	Consumo de Aire unitario	Porcentaje de utilización	Consumo de Aire
		Kg/cm ² (PSI)	ACFM @ (P=6bar- T=20 °C)		ACFM
Inyectoras	21	5,27-5,62 (75-80)	4	50%	42
Sistema de carga	4	5,27-5,62 (75-80)	10	80%	32
Silos	2	5,27-5,62 (75-80)	10	50%	10
Molinos	2	4,2 (60)	10	20%	4
Empacadora	1	5,27-5,62 (75-80)	45	50%	22,5
Codificado	6	5,97 (85)	15	60%	54
Talleres	4	5,27-5,62 (75-80)	30	80%	96
estaciones de limpieza	2	2,81 (40)	10	15%	3
Fugas (6%)	1	5,97 (85)	13	100%	13,2
total					276,7

Tabla 1 Requerimientos teóricos del aire en inyección

Red de aire comprimido de la planta de extrusión

En esta red se tienen los siguientes equipos:

- 3- En la generación de aire comprimido:
 - g- Compresor 1 Marca Sullair, modelo VCC200-100H/A
 - h- Compresor 2 Marca Sullair, modelo LS160-75L/A/SUL
 - i- Compresor 3 Marca Sullair, modelo 7509/A
 - j- Secador de aire Sullair modelo RC-1200-460-3-60-A
 - k- Dos tanques acumuladores de 2 839 litros (750 galones) cada uno.
 - l- Generador de nitrógeno marca Kaaeser, modelo UltraFill 99+
- 4- Como grandes consumidores se tienen:
 - h- 12 extrusoras
 - i- 2 molinos con su correspondiente sistema de transporte.
 - j- 2 máquinas de mezclado de la marca Caccia
 - k- 3 líneas de fabricación de curvas marca Sica
 - l- 2 pulverizadores de la marca Paganni
 - m- 4 talleres (mantenimiento de extrusión, mantenimiento de cabezales, mantenimiento preventivo, cromado).
 - n- 3 máquinas de rotomoldeo.
 - o- Planta de pegamentos (2 máquinas, 5 mezcladores)
 - p- 4 estaciones de limpieza (soplado).

Isométrico de la red de aire comprimido de la planta de extrusión

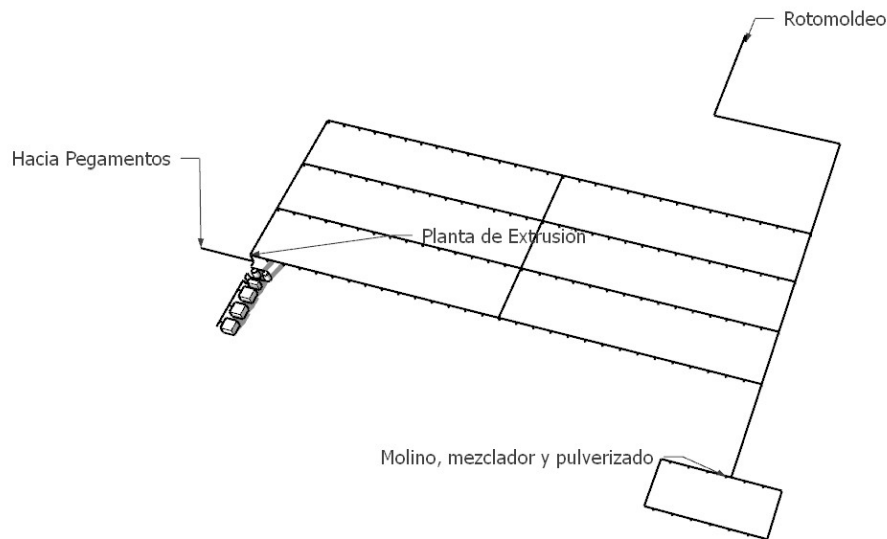


Figura 27: Isométrico de la red de aire comprimido de la planta Extrusión.
Fuente: Jonathan Valverde R.

Descripción del cuarto de compresores de extrusión:

En el recinto destinado a la producción de aire comprimido se encuentran tres compresores de tornillo, los tres de la marca Sullair. Este conjunto de compresores tiene entre 9 y 19 años de trabajo.

En el salón de los compresores se cuenta con una buena ubicación para el ingreso de aire fresco del exterior, como se aprecia en la imagen 2. Estos compresores están conectados a una red de tubería de hierro galvanizado de 4" SCH40. La red pasa por un secador de aire de la marca Sullair antes de llegar a los tanques de almacenamiento de 2 839 litros (750 galones) cada uno, para un total de 5 678 litros (1500 galones) de capacidad. Este sistema opera con dos compresores a la vez y queda el tercero de respaldo. Están ajustados a una presión de descanso de 8,43 Kg/cm² (120 PSI) y una presión mínima de arranque de 7,73 Kg/cm² (110 PSI).



Imagen 2 Cuarto de compresores de extrusión

Descripción de la red en extrusión:

A la salida del cuarto de compresores se alimenta un anillo principal de una tubería de 4" SCH40 de hierro galvanizado (HG). Este anillo alimenta los procesos productivos para la fabricación de tuberías de PVC. Del anillo se deriva una tubería secundaria que transporta el aire comprimido para que sea utilizado en los diversos procesos, como es la planta de mezclado, fabricación de curvas, fabricación de cisternas y la alimentación de la planta de fabricación de adhesivos. La presión de la red está ajustada a un criterio de "no falla", es decir, que bajo la experiencia de proceso se ajustaron las condiciones a una presión tal que ningún sistema falle. En una reunión con el personal de mantenimiento se explicó que dicho criterio fue determinado, partiendo de que los equipos haladores de las líneas productivas en el proceso de extrusión podrían patinar si la presión fue inferior a los $6,67\text{kg/cm}^2$ (95 PSI).

Requerimientos de consumo teórico de aire comprimido sector extrusión:

Equipos de Extrusión	Cantidad	Presión mínima de operación teórica.	Consumo de Aire unitario	Porcentaje de utilización	Consumo de Aire
		Kg/cm ² (PSI)	ACFM @ (P=6bar- T=20 °C)		ACFM
Extrusoras	12	5,27-5,62 (75-80)	51	60%	367,2
Sistema de carga	6	5,27-5,62 (75-80)	20	80%	96
Silos	7	5,27-5,62 (75-80)	90	15%	94,5
Molinos	2	4,2 (60)	10	40%	8
Mezclador	2	5,97 (85)	45	80%	72
Curvas	3	5,97 (85)	40	80%	96
Pulverizadores	2	4,2 (60)	10	80%	16
Talleres	4	5,27-5,62 (75-80)	15	20%	12
Rotomoldeo	3	5,27-5,62 (75-80)	20	40%	24
Planta de pegamentos	1	5,27-5,62 (75-80)	50	80%	40
estaciones de limpieza	4	2,81 (40)	10	15%	6
Fugas (6%)	1	5,97 (85)	42	100%	41,6
total					873,3

Tabla 2: Requerimientos teóricos del aire en extrusión

Fugas

Según lo visto en el marco teórico las fugas en los sistemas de aire comprimido son muy difíciles de identificar y controlar. En la planta Durman no se cuenta con datos históricos o de referencia del porcentaje de fugas, por lo que tampoco se cuenta con una definición admisible de dicho parámetro. En la literatura se habla que para industrias grandes como la de Durman los porcentajes admisibles oscilan entre 10 y 15%, valor que podría resultar muy costoso energéticamente.

En febrero del presente año se contrataron los servicios de identificación y cuantificación de fugas en la planta. Se localizó un total de 7 185 fugas donde, 14 de ellas del sistema de transporte neumático por vacío y 71 de aire comprimido, con un resultado aproximado total de 384,3 Nm³/min (226,2 ACFM) que se producen y escapan del sistema.

En el anexo 6 se muestra el listado de fugas encontradas durante el estudio.

Sin embargo, también para este proyecto se utilizó el método del depósito de volumen conocido para calcular el volumen de aire desperdiciado que representan las fugas en el sistema. Esta medición se practicó desde los tanques acumuladores

principales de la planta, que son de 2 839 litros (750 galones) cada uno, para un total de 5678,12 litros (1500 galones). Se presurizó entonces el sistema a 7,59 kg/cm² (108 PSI) y se desacoplaron los compresores al cerrarse la alimentación a la salida. Luego se dejó caer la presión del sistema a 5.62 kg/cm² (80 PSI) y se midió el tiempo que tardó (2:35min= 155 segundos).

El sistema tardó 2 minuto y 35 segundos en pasar de 7,59 kg/cm²(108 PSI) a 5,62 kg/cm² (80 PSI). Con estos datos se determinó que actualmente las fugas consumen 4,89 Nm³/min (172,68 ACFM).

Caudal de los compresores

Cuando no se cuenta con instrumentación para determinar el caudal real de generación (SCFM) en los compresores se puede recurrir a la siguiente formula:

$$SCFM = ACFM \times \frac{P_b - (RH_a \times PV_a)}{P_s (RH_s \times Pvs)} \times \frac{TS}{Ta}$$

Ecuación 9 cálculo de SCFM



Esta fórmula se basa en el anexo C de la ISO 1217 y se desprende de la ley de los gases ideales.

Donde:

ACFM = Flujo volumétrico actual (ACFM) en condiciones de nivel del mar y humedad relativa de 0% @Dato publicado por el fabricante en la especificación del compresor.

Condiciones estándar (de diseño usado por el fabricante):

Ps = Presión absoluta estándar (PSI) del aire a la altura del mar según el fabricante.

Ts = Temperatura estándar (°R) a la altura del mar según el fabricante.

RHs = Humedad relativa estándar a la altura del mar según el fabricante.

Condición del sitio (donde opera el compresor en la planta)

Pb = Presión barométrica o atmosférica (PSI) a la altura de operación real

RHa = Humedad relativa actual a nivel de operación real

PVa = Presión saturada de vapor de agua a temperatura actual real (PSI)

Ta = Temperatura actual (°R) real de operación.

Considerando que La presión atmosférica es la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie esta varía según la altura. Sobre el nivel del mar su valor es de 1.013 bar (Majumdar, 1998, p4)

Se usaron los siguientes datos:

Altura del aeropuerto Juan Santamaría (dato de altura más cercano al Coyol de Alajuela): 921 MSNM

Presión barométrica a la altura de 921MSNM: 0,911 BAR (13,21 PSI)

Temperatura estándar de 20 °C (527,67 °R), dato del fabricante

Temperatura actual de 30 °C (545,67 °R) Real

Humedad relativa promedio: 60% (dato del Instituto Meteorológico Nacional).

$$SCFM = ACFM \times \frac{Pb - (RHa \times PVa)}{Ps - (Rhs \times Pvs)} \times \frac{Ts}{Ta}$$

Corrección por altitud, humedad relativa y temperatura

Calculo de SCFM reales en condiciones reales de operación											
compresores		ACFM	Pb	Rha	Pva	Ps	Rhs	Pvs	Ts	Ta	SCFM
Extrusión	#1	468	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	395,52
Extrusión	#2	370	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	312,70
Extrusión	#3	444	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	375,24

Nota. La fórmula se toma del anexo C de ISO 1217, la misma se desprende de la ley ideal de los gases

De este cálculo se desprende el factor de corrección:

$$Fc = \frac{SCFM}{ACFM} = 0,845$$

Ecuación 10 Factor de Corrección

Capítulo 5: Análisis de resultados

Propuesta 1

La gestión del mantenimiento preventivo desde el 2018 a la fecha ha logrado concienciar sobre la importancia de atender las fugas de aire. Esta gestión a través del tiempo hizo que se lograra apagar por completo (tres compresores) el compresor dos de extrusión 55,9 Kw (75 Hp), y quedó como respaldo. También se logró apagar dos compresores del sector de inyección 37,2 Kw (50Hp total). Los ahorros de energía, gracias a la concienciación nunca fueron medidos puntualmente, pero la tendencia del indicador de Kwh/Ton (kilowatt hora por tonelada producida) tenía una tendencia a la abaja, y esto abrió las puertas para seguir buscando ahorros de la energía eléctrica en donde la red de aire comprimido jugará un papel protagónico.

Esta propuesta N.º 1 es unificar la red de ambas plantas, es decir, manejarla como una sola y eliminar los gastos de mantenimiento preventivo de los cuatro compresores de inyección y maximizar la ocupación de los compresores de extrusión.

RED de la planta 2019 unificado en un solo anillo

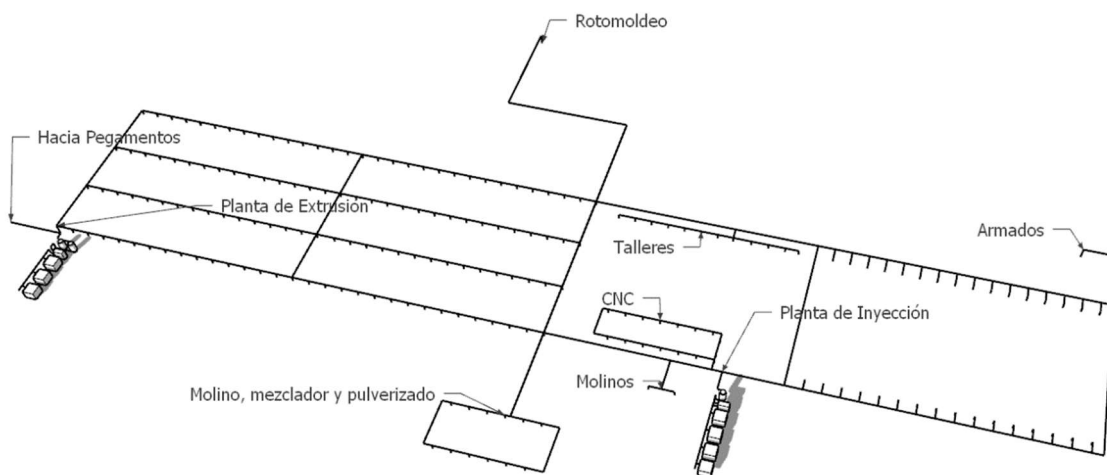


Figura 28: Red de la planta 2019 unificada en un solo anillo

Análisis económico de la propuesta 1

Tomando los datos teóricos del consumo energético de los compresores y considerando la gestión de mantenimiento preventivo se puede establecer un cálculo para el ahorro teórico de la gestión de mantenimiento llevado de previo a este proyecto de mejora. Sus resultados finales serán la base para calcular la mejora de la implementación de este trabajo.

Cálculos teóricos periodo 2017, sin gestión del control de fugas													
compresores		KW	Horas de trabajo y % de utilización		KWh	Valor de KWh		Costo de consumo día		Mantenimiento preventivo externo	Costo de consumo mensual		
Inyección	#1	18,6	24	100%	446,4	USD	0,134	USD	59,76	USD	179,30	USD	1 972,00
Inyección	#2	18,6	24	100%	446,4	USD	0,134	USD	59,76	USD	179,30	USD	1 972,00
Inyección	#3	18,6	24	100%	446,4	USD	0,134	USD	59,76	USD	179,30	USD	1 972,00
Inyección	#4	18,6	0	0%	0	USD	0,134	USD	-	USD	179,30	USD	179,30
Extrusión	#1	74,5	24	100%	1788	USD	0,134	USD	239,35	USD	1 743,43	USD	8 923,86
Extrusión	#2	56	24	100%	1344	USD	0,134	USD	179,91	USD	1 743,43	USD	7 140,80
Extrusión	#3	74,5	24	100%	1788	USD	0,134	USD	239,35	USD	1 743,43	USD	8 923,86
											total	USD	31 083,82

Tabla 3 Análisis gasto teórico 2017

Nota:

Plantas operando con compresores individualmente, sector inyección y sector extrusión

Cálculos teóricos periodo 2018, con algo gestión del control de fugas (inicio del proyecto)													
compresores		KW	Horas de trabajo y % de utilización		KWh	Valor de KWh		Costo de consumo día		Mantenimiento preventivo externo	Costo de consumo mensual		
Inyección	#1	18,6	24	100%	446,4	USD	0,135	USD	60,12	USD	179,30	USD	1 982,75
Inyección	#2	18,6	0	0%	0	USD	0,135	USD	-			USD	-
Inyección	#3	18,6	0	0%	0	USD	0,135	USD	-			USD	-
Inyección	#4	18,6	0	0%	0	USD	0,135	USD	-			USD	-
Extrusión	#1	74,5	24	100%	1788	USD	0,135	USD	240,78	USD	1 743,43	USD	8 966,94
Extrusión	#2	56	24	0%	0	USD	0,135	USD	-	USD	1 743,43	USD	1 743,43
Extrusión	#3	74,5	24	100%	1788	USD	0,135	USD	240,78	USD	1 743,43	USD	8 966,94
											total	USD	21 660,05

Tabla 4: Análisis gasto teórico 2018

Nota:

Plantas en operación con compresores individualmente, sector inyección y sector extrusión, con ahorros significativos por apagar tres compresores. Se logró generar del 2017 al 2018 un ahorro teórico estimado en USD 9 423,77 que representó 30,32% de ahorro. Este dato es de referencia y no será utilizado en el ahorro final. Solo se utilizará para evidenciar la gestión anterior al inicio del proyecto.

Con la propuesta de unificar la red y maximizar la ocupación de los compresores de extrusión se logró un ahorro teórico con la implementación en 21,54%. Pasó de USD 21 660,05 a USD 16 994,53

Cálculos teóricos periodo 2019, con algo gestión del control de fugas con datos del estudio de FONT para el % de utilización									
compresores		KW	Horas de trabajo y % de utilización		KWh	Valor de KWh (USD)	Costo de consumo día (USD)	Mantenimiento preventivo externo	Costo de consumo mensual (USD)
Inyección	#1	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -		USD -
Inyección	#2	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -		USD -
Inyección	#3	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -		USD -
Inyección	#4	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -		USD -
Extrusión	#1	74,5	24	94,7%	1693,2	0,126	USD 213,14	USD 1 447,08	USD 7 841,25
Extrusión	#2	56	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD 1 447,08	USD 1 447,08
Extrusión	#3	74,5	24	92,7%	1657,5	0,126	USD 208,64	USD 1 447,08	USD 7 706,21
total									USD 16 994,53

Tabla 5: Análisis gasto teórico 2019

Desde el 2017 y hasta el 2019 se generó un ahorro teórico de 44,8% y desde la propuesta en el 2018 hasta el 2019 se logró un ahorro teórico de 21,54%, en que se consideran ahorros por energía y ahorros por gestión de eliminación de mantenimientos.

Ahorro teórico periodo	
2017 vrs 2019	2018 vrs 2019
USD 14 089,3	USD 4 665,5
45,3%	21,54%

Estimación de ahorro solo por energía dejando por fuera el beneficio del ahorro por mantenimiento

Estimación del consumo de energía periodo 2018									
compresores		KW	Horas de trabajo y % de utilización		KWh	Valor de KWh (USD)	Costo de consumo día (USD)	Costo de consumo mensual (USD)	
Inyección	#1	18,6	24	100%	446,4	0,135	USD 60,12	USD 1 803,45	
Inyección	#2	18,6	0	0%	0	0,135	USD -	USD -	
Inyección	#3	18,6	0	0%	0	0,135	USD -	USD -	
Inyección	#4	18,6	0	0%	0	0,135	USD -	USD -	
Extrusión	#1	74,5	24	100%	1788	0,135	USD 240,78	USD 7 223,51	
Extrusión	#2	56	24	0%	0	0,135	USD -	USD -	
Extrusión	#3	74,5	24	100%	1788	0,135	USD 240,78	USD 7 223,51	
total									USD 16 250,47

Estimación de consumo periodo 2019, usando reporte del FONT									
compresores		KW	Horas de trabajo y % de utilización		KWh	Valor de KWh (USD)	Costo de consumo día (USD)	Costo de consumo mensual (USD)	
Inyección	#1	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD -	
Inyección	#2	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD -	
Inyección	#3	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD -	
Inyección	#4	18,6	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD -	
Extrusión	#1	74,5	24	94,7%	1693,2	0,126	USD 213,14	USD 6 394,17	
Extrusión	#2	56	0	0,0%	0	0,126	USD -	USD -	
Extrusión	#3	74,5	24	92,7%	1657,5	0,126	USD 208,64	USD 6 259,13	
total									USD 12 653,30

El ahorro teórico por energía fue de 22,14% y que representa USD 3 597,17 mensual.

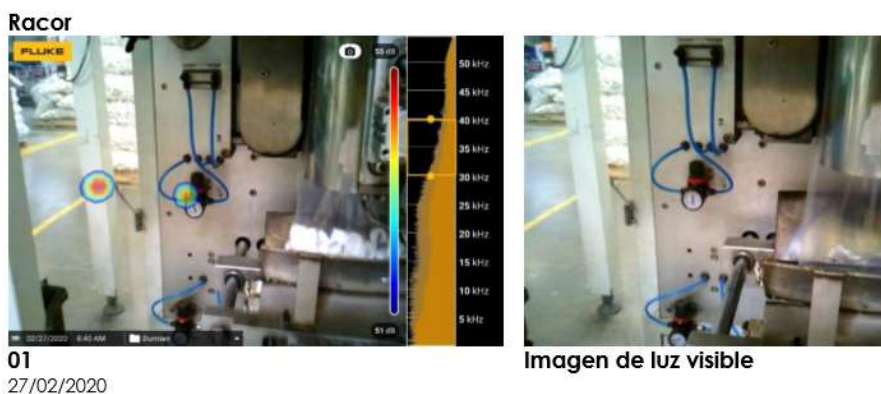
Propuesta 2

Las pérdidas por fugas ya no son tan notorias como en el pasado. Cada vez es más difícil encontrarlas. Actualmente los técnicos de mantenimiento tardan mucho en encontrar fugas en la red con el instrumento de medición de ultrasonido (LD400). Además, el ruido de la planta juega en contra de este tipo de tecnología, lo que complica aún más la búsqueda. El ruido de la planta cuando está operando hizo que las rutinas de mantenimiento para la búsqueda de fugas se estuvieran ejecutando los fines de semana con planta parada, lo que aumentó los costos de mantenimiento. Además, hacer esta labor con la planta parada no es efectivo porque muchas fugas se presentan durante los ciclos en movimiento.

Por tal motivo en esta propuesta N.º 2 se plantea definir una frecuencia de inspección del tipo auditoría externa con tecnología de punta, con cámara Fluke ii900 o con tecnología superior y con una frecuencia de seis meses en el primer año y medio, y posteriormente hacerla anualizada, dejándola plasmada dentro de las rutinas del mantenimiento SAP.

Durante las pruebas con el equipo Fluke ii900 en sitio se aportaron datos interesantes que le agregaron valor a la propuesta, debido a que también encuentra las fugas de vacío del sistema de transporte neumático, lo que genera un valor extra a la compañía. Resolver fugas de vacío en el transporte neumático se traduce en ahorro de energía eléctrica).

A continuación, parte del resultado de los hallazgos de la primera auditoría cuya capacidad de detección y la velocidad con la que se logra hacer la inspección son impresionantes:



Equipo	Racor manómetro, empacadora
Ubicación	Armado
Nivel de Fuga	pequeña
Presión	72 Psi

Racor



02

27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Racor acople, empacadora
Ubicación	Armado
Nivel de Fuga	Grande
Presión	72 Psi

Pistola



04

27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Pistola manguera Blass
Ubicación	Inyección
Nivel de Fuga	pequeña
Presión	82 Psi

Racor



17

27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Racor acople codificadora 2
Ubicación	Armado
Nivel de Fuga	Pequeña
Presión	82 Psi

Acople



19
27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Acople manguera de aire
Ubicación	Armado
Nivel de Fuga	pequeña
Presión	82 Psi

Acople

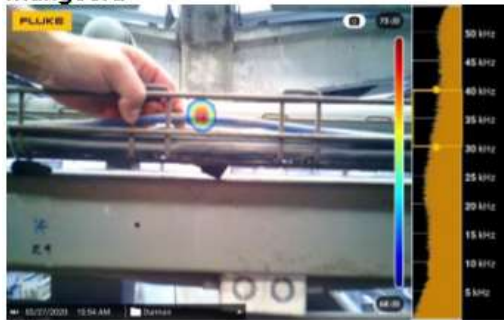


30
27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Acople actuador válvula INYBLA
Ubicación	Molino
Nivel de Fuga	Grande
Presión	82 Psi

Manguera



42
27/02/2020

Imagen de luz visible

Equipo	Manguera E23 martillo grande
Ubicación	Mezzanine
Nivel de Fuga	Grande
Presión	82 Psi

Análisis económico de la propuesta 2

EL servicio de inspección de fugas tiene un costo de USD 650,00 para las dos primeras horas y un valor de USD 200,00 la hora adicional, por lo que para esta primera inspección se propuso un total de 8 horas, con un costo total de USD 2 090,50, según se propuso. El primer año se ejecutará la labor dos veces por lo que el costo anual sería de USD 4 181,00 y para el segundo año se pasará a hacer la auditoría una vez al año.

Esta actividad se compara con las horas de servicio y con el costo de los técnicos internos de Durman, los cuales atienden las actividades de fugas los domingos en una jornada de 8 horas, dos veces al mes. Para efectos de cálculo se utilizó el costo de la tarifa promedio del año 2019, de USD 11,45.

Indicadores de Calidad Mantenimiento 2019					Durman by otixis
Área	Indicadores	Metas	Promedio	LIMITE C. PREVENTIVO	LIMITE C. CORRECTIVO
General	Tarifa Mto	\$ 13,00	\$ 11,45	\$ 14,00	\$ 16,00
	Cump. Preventivo GENERAL	90,0%	79,9%	87,0%	75,0%

Tabla 6: indicador de la tarifa de la mano de obra

Primer y segundo año:

Primer año	Costo mensual	Costo semestral	Costo anual	Segundo año	Costo mensual	Costo anual
Servicio externo Inspecciones de fugas	USD 348,42	USD 2 090,50	USD 4 181,00	Servicio externo Inspecciones de fugas	USD 174,21	USD 2 090,50
tecnico Durman (8hrs x 2 fines de semana al mes)	USD 183,20	USD 2 198,40	USD 2 198,40	tecnico Durman (8hrs x 2 fines de semana al mes)	USD 183,20	USD 2 198,40
			No ahorro -USD 1 982,60			
				ahorro USD 107,90		

Tabla 7 análisis económico propuesta 2

El mayor beneficio de esta propuesta está en la efectividad de la ubicación del hallazgo de la fuga, la precisión de la ubicación, el registro fotográfico y el tiempo de respuesta; además de lograr evidenciar fugas de vacío. De manera que al obtener una visualización clara de las fugas se podrán atender fugas con mayor prontitud y obtener resultados de ahorro al instante.

Propuesta 3

Las fugas se pueden considerar un desperdicio de energía pues el aire simplemente se escapa hacia la atmósfera sin generar ningún trabajo, aire que se pudiera emplear para otros fines productivos.

Cuando la cantidad de fugas se incrementa considerablemente la presión en punto de consumo desciende, a lo cual comúnmente el usuario le incrementa la presión de operación de trabajo de los compresores, lo que agrava la situación, pues a mayor presión el flujo de aire que se escapa es mayor en la rama industrial. Uno de los problemas más comunes es el de las fugas, ya que estas pueden representar entre 25 y 30% de la capacidad de generación de los compresores instalados, lo cual en empresas con bajo mantenimiento se traduce en un desperdicio energético de miles de dólares.

Por lo tanto en esta propuesta N.º 3 se busca dejar establecido el porcentaje admisible de fugas, así como establecer el porcentaje actual por pérdidas en fugas. Para determinar ambos porcentajes se procede a dejar plasmados tres métodos de cálculo, los cuales se pueden usar para hacer comparaciones en el tiempo y comparar tendencias.

- 1- El método de aire libre contenido en los tanques acumuladores es una prueba que consiste en inspeccionar la pérdida de presión en un tiempo determinado y con un volumen conocido.
- 2- El método de cálculo estimado de pérdidas desde los hallazgos localizados con la cámara acústica Fluke ii900, utilizando los valores teóricos de SCFM de los compresores.
- 3- Un tercer método es el mismo N.º 2 pero usando los valores reales del estudio de eficiencia de los compresores. Este método sería el modelo más aproximado a la realidad.

Los tres métodos funcionan para medir una tendencia en el tiempo.

Cálculo de pérdidas con el método de aire libre contenido en los tanques acumuladores

Con la red unida de las dos plantas:

$$Q_{\text{inicio}} = \text{Volumen tanque} * (P_{\text{inicial}} + 1 \text{ atms})$$

$$Q_{\text{final}} = \text{Volumen tanque} * (P_{\text{final}} + 1 \text{ atms})$$

$$Q_{\text{inicio}} = 5\,678 \text{ l} * (7,5983 + 1,0339) = 49\,013,63 \text{ litros}$$

$$Q_{\text{final}} = 5\,678 \text{ l} * (5,62837 + 1\,0339) = 37\,828,37 \text{ litros}$$

La cantidad de aire que queda en el depósito es:

$$Q_{\text{residual}} = Q_{\text{inicial}} - Q_{\text{final}}$$

$$Q_{\text{residual}} = 49\,013,63 \text{ litros} - 37\,828,37 \text{ litros} = 11\,185,26 \text{ litros}$$

El caudal horario de escape es de:

$$Q_h = \frac{Q_{\text{residual}} * 3\,600 \text{ seg}}{T \text{ de la prueba}}$$

$$Q_h = \frac{11\,185,26 \text{ litros} * 3\,600 \text{ seg}}{155 \text{ seg}} = 259\,786,7 \text{ N} \frac{\text{litros}}{\text{hrs}}$$

$$Q_h = \frac{259\,786,7 \text{ N} \frac{\text{litros}}{\text{hrs}}}{1\,000} = 259,78 \text{ N} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Donde $N \text{ m}^3$ significa “normal metro cúbico”, que es una medida del volumen de un gas no condensable a 0°C y a nivel del mar. Al no disponer de agua su humedad relativa es de 0%.

Naturalmente, el caudal así calculado no representa con exactitud el escape del aire buscado. En efecto, lo que se desea conocer es la fuga de aire de la red a la presión normal de trabajo durante los 155 segundos.

Admitiendo que $7,5983 \text{ kg/cm}^2$ sea la presión relativa normal de la red en el punto considerado, el caudal de escape obtenido $11,185.26 \text{ litros}$ es más débil que el caudal de escape real, puesto que se ha obtenido de una presión decreciente.

Aproximadamente, se puede decir que el escape real tiene lugar bajo la presión media de:

$$P_{media} = \frac{(P_{inicial} + P_{final})}{2}$$

$$P_{media} = \frac{(7,5983 \frac{kg}{cm^2} + 5,62837 \frac{kg}{cm^2})}{2} = 6,613 \frac{kg}{cm^2} \text{ (Relativos)}$$

O sea,

$$P_{media} = 6,613 \frac{kg}{cm^2} + 1,0339 \frac{kg}{cm^2} = 7,647 \frac{kg}{cm^2} \text{ (Absolutos)}$$

El caudal de escape exacto está dado por:

$$Q_{de\ perdida\ por\ fugas} = \frac{Qh * (P_{inicial} + atm)}{P_{media}}$$

$$Q_{de\ perdida\ por\ fugas} = \frac{259,78 \frac{N \cdot m^3}{hr} * (7,5983 \frac{kg}{cm^2} + 1,0339 \frac{kg}{cm^2})}{7,647 \frac{kg}{cm^2}} = 293,248 \frac{N \cdot m^3}{hr}$$

$$= \mathbf{172,68\ ACFM}$$

Tal cual se vio en el marco teórico, usando las ecuaciones 9 y 10 se logrará determinar el valor teórico de SCFM de los compresores para posteriormente lograr encontrar el factor de corrección.

Se determina así que el porcentaje de fugas con este método es de 18,9%

$$SCFM = ACFM \times \frac{P_b - (RH_a \times P_{V_a})}{P_s - (RH_s \times P_{V_s})} \times \frac{T_s}{T_a}$$

Corrección por altitud,
humedad relativa y
temperatura

Calculo de SCFM reales en condiciones reales de operación											SCFM	Factor de corrección
compresores	ACFM	Pb	Rha	Pva	Ps	Rhs	Pvs	Ts	Ta			
Extrusión #1	468	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	395,52	0,845	
Extrusión #2	370	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	312,70	0,845	
Extrusión #3	444	13,21	60%	0,616	14,69	0%	0,34	528	545,7	375,24	0,845	

Nota. La fórmula se toma del anexo C de ISO 1217, la misma se desprende de la ley ideal de los gases

Por el método de aire libre contenido en los tanques acumuladores

producción de aire (SCFM)	Fuga estimada (ACFM)	Factor de corrección	Fugas actuales (SCFM)	% que representa
770,8	172,68	0,845	145,9	18,9%

Nota. Solo se consideran operativos los compresores 1 y 3 (770,8 SCFM), el 2 es de respaldo.

Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas con la cámara acústica Fluke ii900, utilizando los valores teóricos de SCFM de los compresores.

Estudio realizado por la empresa Elvatron, ver anexo 11

Criterios:

- Para cada imagen tomada en la inspección de campo por la cámara acústica se anotaron la ubicación y la presión de operación, así como una determinación del tamaño de la fuga. El tamaño de la fuga se consideró bajo el siguiente criterio:
 - a- Fugas pequeñas (1/32"): apenas o no audible del todo. Se siente como un aire ligero al contacto. (48 fugas)
 - b- Fugas medianas (1/6"): audible a un par de metros. Se siente como una corriente de aire suave al contacto. (13 fugas)
 - c- Fugas grandes (>1/8"): ruidosa a la distancia; se siente como un chorro de aire fuerte. (10 fugas).

Nota 71. Fugas en el total de aire comprimido

Presión manométrica antes del orificio, (psi)	Diámetro nominal, pulg.		
	1/32	1/16	1/8
	Descarga, Pies ³ de aire libre por min.		
80	1,34	5,36	21,4
Coeficiente irregular	0,65	0,65	0,65
Fugas Pequeñas	48		
Fugas Medianas		13	
Fugas Grandes			10
Perdidas según el tamaño (ACMF)	41,808	45,292	139,1
Total (ACMF)	226,2		
- Según un coeficiente de circulación al 100%. Si la entrada es perfectamente redondeada, multiplicar los valores por 0,97. Si los bordes del orificio son irregulares, se debe utilizar un multiplicador de 0,65.			
- Esta tabla presenta sólo resultados aproximados. Para obtener valores exactos, consulte el Código ASME de Pruebas de Potencia ("Power Test Code") sobre medición de la circulación de volumen sobre velocidad.			

Tabla 8. Cálculo teórico de pérdidas por fugas encontradas

Al igual que en el método anterior, usando las ecuaciones 9 y 10 se logra determinar que el porcentaje de fugas con este método da 24,8%.

Por el método de inspección de fugas de aire				
producción de aire (SCFM)	Fuga estimada (ACFM)	Factor de corrección	Fugas (SCFM)	% que representa
770,8	226,20	0,845	191,2	24,8%

Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas con la cámara acústica Fluke ii900, utilizando los valores reales del estudio de eficiencia de los compresores.

Estudio realizado por la empresa Font. Ver el anexo 10

Criterios:

- Para cada imagen tomada en la inspección de campo por la cámara acústica se anotaron la ubicación y la presión de operación, así como una determinación del tamaño de la fuga. El tamaño de la fuga se consideró bajo el siguiente criterio:
 - d- Fugas pequeñas (1/32"): apenas o no audible del todo. Se siente como un aire ligero al contacto. (48 fugas)
 - e- Fugas medianas (1/6"): audible a un par de metros. Se siente como una corriente de aire suave al contacto. (13 fugas)
 - f- Fugas grandes (>1/8"): ruidosa a la distancia; se siente como un chorro de aire fuerte. (10 fugas).
 - g- Tabla 8 del método anterior. Se obtuvieron 71 fugas para un total de 226,20 ACFM de aire comprimido.

Dato del estudio:

Compressor Information		Ratings		Performance Summary	
Name	COMPRESOR #1	Rated Package Power	91 kW	Average Power	75,7 kW / 101,4 HP
Manufacturer	Sullair	Rated Full Load Flow	468 ACFM	Average Flow	362,5 SCFM
Model	VCC200-100H	Rated Pressure	125 Psig	Average Pressure	108,5 Psig
Single Stage Lubricated Rotary Screw		Rated Efficiency	19,5 kW/ 100 ACFM	Measured Efficiency	20,9 kW/ 100 SCFM
Control Type	Variable Displacement	Rated Unload Power	19,6 kW	% Loaded Flow	77,5%
Stages of Compression	1	Rated Unload Percent	21,5%	% Loaded Power	83,1%
Nominal Power	100 HP	Standard Rated Conditions	14,5 psia/ 68 °F/ 0% RH	% Run Time	94,7%
Main Motor Efficiency	95,4%	Rated Flow at Site Conditions	399,7 SCFM	Annual Operating Hours	8.275
Fan/Oil Pump/Aux/Power	3 HP	Rated Power at Site Conditions	86,4 kW	Annual kWh	626.156 kWh
Fan/Aux Motor Efficiency	88,5%	Rated Efficiency at Site Conditions	19,5 kW/ 100 ACFM	Annual Cost	€78.896

Compressor Information		Ratings		Performance Summary	
Name	COMPRESOR #2	Rated Package Power	71,7 kW	Average Power	48,7 kW / 65,2 HP
Manufacturer	Sullair	Rated Full Load Flow	370 ACFM	Average Flow	144 SCFM
Model	LS16-75L	Rated Pressure	110 Psig	Average Pressure	98,9 Psig
Single Stage Lubricated Rotary Screw		Rated Efficiency	19,4 kW/ 100 ACFM	Measured Efficiency	33,8 kW/ 100 SCFM
Control Type	Inlet Modulation With Blow Down	Rated Unload Power	16,9 kW	% Loaded Flow	38,9%
Stages of Compression	1	Rated Unload Percent	23,6%	% Loaded Power	67,9%
Nominal Power	75 HP	Standard Rated Conditions	14,5 psia/ 68 °F/ 0% RH	% Run Time	4,7%
Main Motor Efficiency	95,4%	Rated Flow at Site Conditions	316 SCFM	Annual Operating Hours	410
Fan/Oil Pump/Aux/Power	3 HP	Rated Power at Site Conditions	68,1 kW	Annual kWh	19.968 kWh
Fan/Aux Motor Efficiency	89,5%	Rated Efficiency at Site Conditions	19,4 kW/ 100 ACFM	Annual Cost	€2.516

Compressor Information		Ratings		Performance Summary	
Name	COMPRESOR #3	Rated Package Power	90,3 kW	Average Power	70,1 kW / 93,9 HP
Manufacturer	Sullair	Rated Full Load Flow	444 ACFM	Average Flow	223,4 SCFM
Model	7509	Rated Pressure	125 Psig	Average Pressure	108,5 Psig
Single Stage Lubricated Rotary Screw		Rated Efficiency	20,3 kW/ 100 ACFM	Measured Efficiency	31,4 kW/ 100 SCFM
Control Type	Inlet Modulation With Blow Down	Rated Unload Power	19,3 kW	% Loaded Flow	50,3%
Stages of Compression	1	Rated Unload Percent	21,4%	% Loaded Power	77,6%
Nominal Power	100 HP	Standard Rated Conditions	14,5 psia/ 68 °F/ 0% RH	% Run Time	92,7%
Main Motor Efficiency	95,4%	Rated Flow at Site Conditions	379,2 SCFM	Annual Operating Hours	8.102
Fan/Oil Pump/Aux/Power	3 HP	Rated Power at Site Conditions	85,7 kW	Annual kWh	567.689 kWh
Fan/Aux Motor Efficiency	89,5%	Rated Efficiency at Site Conditions	20,3 kW/ 100 ACFM	Annual Cost	€71.529

Compressor Performance Summary									
Compressor Information	Full Load Ratings			Performance Summary					
	Full Load Flow	Rated Pressure	Full Load Package Power	% Run Time	Average Flow*	Average Pressure*	Average Power*	Measured Efficiency*	Annual Energy Cost**
COMPRESOR #1 Sullair VCC200-100H 100,00 HP Variable Displacement	468 ACFM	125 Psig	91 kW	94,7%	362,5 SCFM	108,5 Psig	75,7 kW / 101,4 HP	20,9 kW/ 100 SCFM	€78.896
COMPRESOR #2 Sullair LS16-75L 75,00 HP Inlet Modulation With Blow Down	370 ACFM	110 Psig	71,7 kW	4,7%	144 SCFM	98,9 Psig	48,7 kW / 65,2 HP	33,8 kW/ 100 SCFM	€2.516
COMPRESOR #3 Sullair 7509 100,00 HP Inlet Modulation With Blow Down	444 ACFM	125 Psig	90,3 kW	92,7%	223,4 SCFM	108,5 Psig	70,1 kW / 93,9 HP	31,4 kW/ 100 SCFM	€71.529
Total (System)	1282 ACFM	N/A	253,1 kW	99,4%	561 SCFM	108 Psig	139,8 kW / 187,5 HP	24,9 kW/ 100 SCFM	€152.940

* Averages include data only when compressor was running **Annual Energy Cost does not include demand charges

ACFM= 1282; SCFM=561; 0,249 KW/SCFM; de la Ecuación #10 $F_c = 0,435$

datos reales de eficiencia de compresores, según estudio realizado por Font				
producción de aire (SCFM)	Fuga estimada (ACFM)	Factor de corrección	Fugas (SCFM)	% que representa
561,0	226,20	0,435	98,4	17,5%

El método 3 arroja 17,5% de fugas actuales con datos reales de eficiencia de los compresores.

Con estos tres métodos y datos se define la base para futuras inspecciones en análisis de pérdidas en la red.

La definición de pérdidas admisibles se establece en 6% y en ella se utilizó el siguiente criterio:

En la tabla 8 sí se logra atender 100% de las fugas grandes y 23% de las medianas. El nuevo valor de pérdidas bajaría a 76,64 ACFM (33,49 SCFM). Esto representa 6% de fugas en toda la red.

Presión manométrica antes del orificio, (psi)	Diámetro nominal, pulg.		
	1/32	1/16	1/8
	Descarga, Pies ³ de aire libre por min.		
80	1,34	5,36	21,4
Coefficiente irregular	0,65	0,65	0,65
Fugas Pequeñas	48		
Fugas Medianas		10	
Fugas Grandes			0
Perdidas según el tamaño (ACMF)	41,808	34,84	0
Total (ACMF)	76,648		
<p>- Según un coeficiente de circulación al 100%. Si la entrada es perfectamente redondeada, multiplicar los valores por 0,97. Si los bordes del orificio son irregulares, se debe utilizar un multiplicador de 0,65.</p>			
<p>- Esta tabla presenta sólo resultados aproximados. Para obtener valores exactos, consulte el Código ASME de Pruebas de Potencia ("Power Test Code") sobre medición de la circulación de volumen sobre velocidad.</p>			

Por lo tanto, bajo este criterio el porcentaje admisible de fugas en la planta y la evidencia de que las tiene es actualmente de 17,5%.

Análisis económico de la propuesta 3

SCFM disponibles estudio de eficiencia FONT	% de fuga	SCFM de fugas	costo por fugas mensual	costo por fugas anual	KW	HP
561,0	2%	11,22	USD 161	USD 1 930	2,1	2,8
	4%	22,44	USD 322	USD 3 861	4,2	5,7
	6%	33,66	USD 483	USD 5 791	6,4	8,5
	8%	44,88	USD 643	USD 7 722	8,5	11,4
	10%	56,10	USD 804	USD 9 652	10,6	14,2
	12%	67,32	USD 965	USD 11 583	12,7	17,1
	14%	78,54	USD 1 126	USD 13 513	14,9	19,9
	16%	89,76	USD 1 287	USD 15 444	17,0	22,8
18%	100,98	USD 1 448	USD 17 374	19,1	25,6	

días laborables	horas de día	semanas del año	Estimación de feriados	Horas año
6	24	52	11	7224

Método	Volumen de Fugas (ACFM)	Volumen de fugas SCFM	KW / SCFM (promedio)	KW perdida	Horas promedio de operación mensual	Horas promedio de operación anual	perdida promedio de KWh mensual	perdida promedio de KWh anual	Valor de KW promedio anual 2019	Gasto promedio mensual por fugas	Gasto promedio anual por fugas
Cálculo de pérdidas por el método aire libre contenido en los tanques acumuladores.	172,68	145,9	0,189	27,61	602	7224	16 622,81	199 473,69	0,126	USD 2 092,4	USD 25 109,1
Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas cámara acústica Fluke ii900 y valores teóricos de SCFM.	226,20	191,2	0,189	36,17	602	7224	21 774,84	261 298,05	0,126	USD 2 740,9	USD 32 891,4
Estimación de pérdida desde los hallazgos del estudio de fugas cámara acústica Fluke ii900 y valores reales de eficiencia.	226,20	98,4	0,189	18,62	602	7224	11 207,87	134 494,48	0,126	USD 1 410,8	USD 16 929,7

Seis por ciento (6%) de las fugas representa un gasto anual de USD 5 791, mientras que el gasto por fugas actuales representa USD 16 929,7, por lo que se obtiene un ahorro anual por atención de fugas de USD 11 138,7. En concordancia con la propuesta 2 se puede decir que el ahorro anual final sería de:

Detalle	Monto anual
Servicio externo, diagnóstico de fugas	USD 2 090,50
Estimación de horas técnicas por reparación (8 horas x 1 vez al mes)	USD 1 099,20
Estimación por materiales para la reparación (USD 100 al mes)	USD 1 200,00
Inversión	USD 4 389,70

Ahorro al reducir las fugas a 6%	USD 11 138,7
Ahorro estimado total anual	USD 6 749,03

$$ROI = \frac{(Ahorro\ Generado - Costo\ de\ Inversión)}{Costo\ de\ Inversión}$$

$$Periodo\ de\ recuperación = \frac{Costo\ de\ Inversión\ inicial}{Ahorro\ Generado}$$

Inversión	Ahorro anual por reducción de fugas	ROI	Recuperación (años)
\$4 389,70	USD 11 138,73	1,54	0,39

Propuesta 4

Como se observó en las tablas 1 y tabla 2 la planta **no** presenta un requerimiento como para operar a altas presiones, por lo que se procedió a hacer una revisión más exhaustiva en los sectores críticos conocidos como taller de CNC y equipos de arrastre “haladoras”, en donde se evidenciaron alarmas o averías durante las pruebas de bajarle la presión a la red.

En los equipos de CNC del sector de inyección se encontró que las máquinas están ajustadas (configuradas) en su programación con un valor de alarma de presión baja de aire igual a 7,03 Kg/cm²(100 PSI). Los manuales de las CNC indican que la presión mínima requerida de operación puede estar en 5 Kg/cm² (71,1 PSIG) y 5,62 Kg/cm² (80 PSIG) en que la OKUMA sería la crítica.

En los equipos de arrastre (haladoras) del sector de extrusión se procedió a hacer una revisión más exhaustiva y se encontró que la causa raíz se da en la suciedad que se arrastra del proceso (parafina adherida en las tuberías fabricadas), y en la polución del mismo proceso de las tolvas de llenado de materias; además de una falla en los ajustes en las contrapresiones de los pistones de las orugas. Los manuales de las haladoras hablan de un requerimiento de presión mínima de 5,27 Kg/cm² (75 PSIG)

En esta propuesta 4 se propone operar toda la red a una sola presión de 5.76 kg/cm² (82 PSI). Esto implica una gestión de programación de los parámetros de alarmas en los diferentes equipos que dan fallas por baja presión, como por ejemplo en el departamento de CNC. También se requiere una gestión de rutinas de mantenimiento (limpieza) de las orugas de las haladoras de extrusión y, además, un entrenamiento del personal de producción para entender los ajustes de contrapresión en las orugas de arrastre. (Contrapresión se refiere a una presión que se opone a la presión mayor del movimiento o desplazamiento de los pistones).

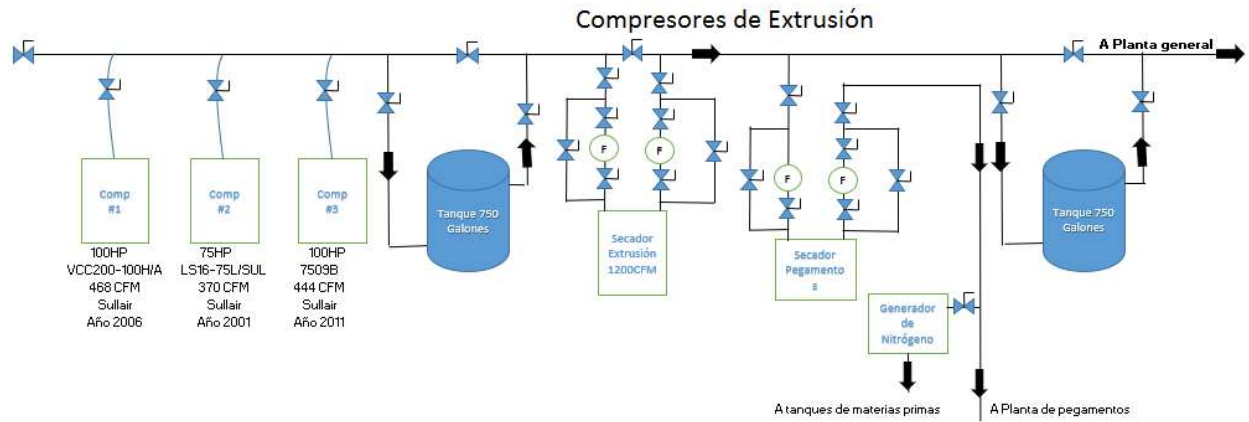
Durante las pruebas para comprobar el criterio de bajar de presión de la red se descubrió que en el sector de CNC se requería aumentar los diámetros de las mangueras de alimentación de aire comprimido de las máquinas erosionadoras de hilos, las cuales daban alarma por baja presión. Esta alarma se daba durante el proceso de limpieza cuando se liberaba toda la presión del acumulador de aire de la propia máquina. La recuperación de ese caudal no se daba en el tiempo necesario por lo que se activaba la alarma. Una vez solucionado el problema de alimentación las pruebas fueron satisfactorias y se luz verde a la propuesta.



Al bajar la presión de aire de la red se provocó un requerimiento de ajustes, un modo de operación e interacción entre los compresores muy diferente de cómo se venía trabajando. Se consideraron las recomendaciones del representante de la marca Sullair, la cual fue operar con el compresor 3 como el principal y entregar 100% de su capacidad, usar el compresor 1 como el que oscila ante la demanda y usar el compresor 2 como respaldo (*backup*) mientras los tres compresores estaban operando en forma escalonada.

Además, en esta propuesta se incluye un sistema de control de flujo “Flowlogic control” SFL-1000 para mejorar la eficiencia de los compresores ante la respuesta de demanda. Esto implicó generar reformas estructurales de la red (tuberías) y cambiar esencialmente la ubicación de los tanques acumuladores, como se aprecia en las siguientes imágenes.

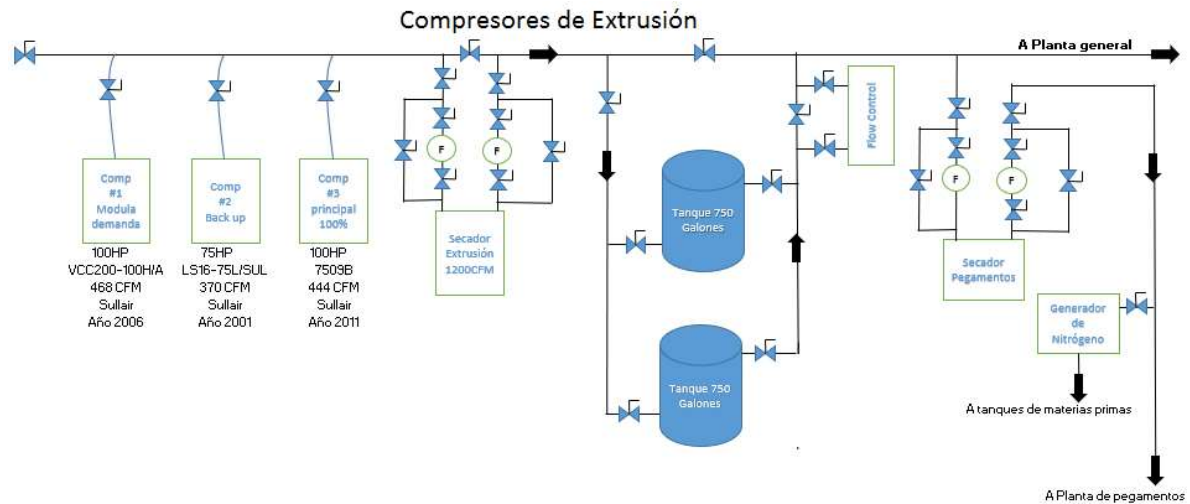
Configuración compresores Extrusión 2017



Jonathan Valverde R. 2017

Figura 29: Configuración compresores Extrusión 2017

Configuración de compresores con el controlador de flujo

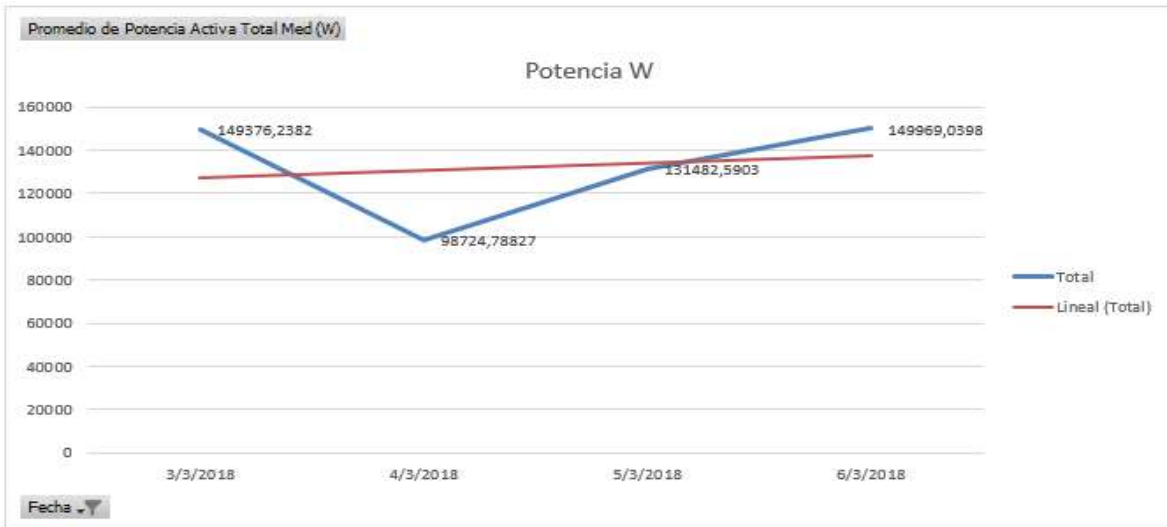


Jonathan Valverde R.

Figura 30: Configuración compresores con el controlador de flujo

Durante las pruebas de bajar la presión de la red se tomaron datos de consumo energético para documentar los ahorros.

El primer dato de consumos eléctricos se inició el 3 de marzo del 2018. Durante estos primeros días se registró un promedio de consumo base de referencia en KW de 149,9 hasta el 6 de marzo. Las presiones de operación en los compresores estaban ajustadas a 8,43 kg/cm² (120 PSI)



Gráfica 1

Nota. El pico bajo que se muestra en la gráfica se debe que el Domingo 4 no operó la planta.

El 6 de marzo se procede a hacer el primer ajuste de presión, que pasa de 8,43 kg/cm² (120 PSI) en el controlador de flujo (*Flowlogic*) a 6,68 kg/cm² (95 PSI). Se registrando una baja de 149,9 a 148,4 KW.

Nota. En este día la cantidad de KW ahorrados por el controlador no fue significativo, pero si marcó un buen camino.

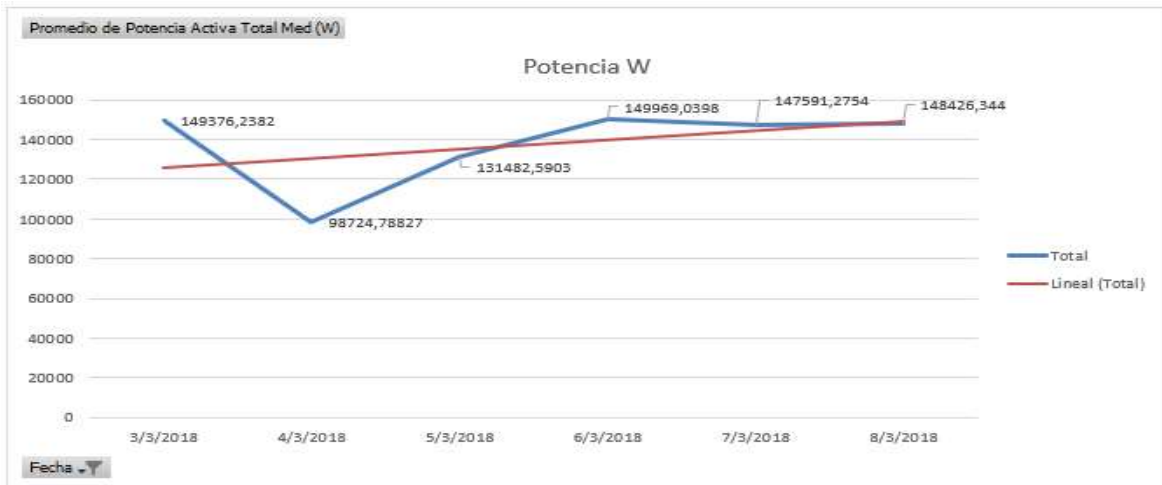


Gráfica 2

El segundo ajuste se hace el 7 de marzo una vez confirmado que la planta no sufrió problemas durante las 24 horas. Pasa de 8,43 kg/cm² (120 PSI) en el compresor y 6,68 kg/cm² (95 PSI) en el controlador de flujo (*Flowlogic*) a una nueva presión en el controlador de 6,11 kg/cm² (87 PSI) en las plantas productivas.

Nota. Interprétese que la salida del controlador de flujo (*Flowlogic*) es la presión de la planta.

No se tuvo un ahorro extra sino que se mantuvo en consumo en 148,4KW.



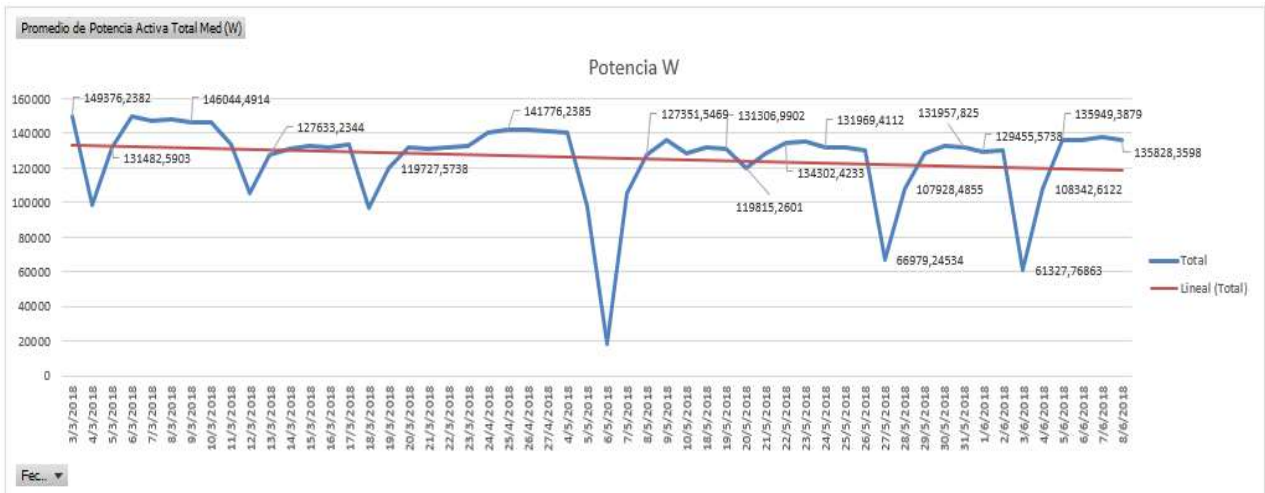
Gráfica 3

El tercer ajuste se hace el 9 de marzo cuando pasan las presiones de los compresores 1 y 3 de 8,43 kg/cm² (120 PSI) a 7,73 kg/cm² (110 PSI). Este ajuste se hizo desde la pantalla de los compresores y provocó que los compresores se fueran a descansar muy seguido, por lo que requirieron ajustes de control para la estabilización.

Presión de compresores 7,73 kg/cm² 110 PSI y presión en planta de 6,11 kg/cm² (87 PSI)

En este ajuste se registra un ahorro en relación con la operación base inicial de 149,9KW a 146,4 KW.

El 12 de marzo se hacen los ajustes finales y se obtiene la siguiente tendencia de ahorro hasta la fecha del 6 de junio 2018. Se pasa de 149,9KW operación base a 131,7KW final y se genera así un ahorro en KW de 18,2 KW



Gráfica 4

Análisis económico de la propuesta 4

La reubicación de equipos, el controlador de flujo *Flowlogic* control SFL-1000, un sistema de monitoreo de fases (por seguridad) y los materiales para la reubicación figura 30 tuvieron un costo total de USD 14 859,14, mientras que el ahorro por energía anual es de USD 16 549,87

Instalación de equipos y reubicación	\$11 156,00
equipos varios de protección y materiales	\$3 703,14
total	\$14 859,14

Inversión	KW ahorro	horas al año disponible	valor de kWh	Ahorro anual por	ROI	Recuperación (años)
\$14 859,14	18,2	7224	0,126	\$16 549,87	0,11	0,90

$$ROI = \frac{(\text{Ahorro Generado} - \text{Costo de Inversión})}{\text{Costo de Inversión}}$$

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Costo de Inversión inicial}}{\text{Ahorro Generado}}$$

Kw inicio	Kw final	Ahorro
149,9	131,7	18,2
100%	88%	12%

Propuesta 5

La compañía Durman cuenta con la certificación en ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 por lo que los retos de la mejora continua la ponen a prueba constantemente. En esta dirección es necesario definir un indicador que sea específico, medible, alcanzable y realista. Por ello se le propuso a la gerencia de manufactura la compra de un sistema de recolección de datos en línea para el próximo Capex 2021.

En lo que a esto respecta, se tomarán datos cada seis meses del proveedor actual que presta el servicio de mantenimiento preventivo. Este servicio, estilo auditoría, ayudará a determinar la tendencia en la eficiencia de los compresores, medirá la demanda actual más las pérdidas de la planta en tiempo real, y con esto se logrará llevar el indicador de porcentaje de fugas permitido y el indicador de (m^3/h) /TON (SCFM/TON).

Análisis económico de la propuesta 5

El costo de la implementación del proyecto de medición en línea quedó en proceso de cotización; sin embargo, la recolección de datos tendrá un impacto directo en el diagnóstico a tiempo del estado de la red, e indicará un posible crecimiento en fugas o un aumento por demanda fuera de lo normal, que se traduciría en desperdicio.

Propuesta 6

Es necesario establecer la capacidad requerida de tanques acumuladores para determinar si es necesario incluir más capacidad a la red actual. Para esto se procede a hacer los cálculos vistos en el marco teórico mediante la ecuación N.º 1:

Nota:

- 1- Para este cálculo aún no se tienen los datos reales de la demanda V_2 , por lo que se tomará lo que la teoría define como 0,79 para equipos de 22,3KW (30Hp) - 75KW (100hp). variable DF
- 2- Ciclos carga - descarga en compresores de hasta 74,57KW (100hp) de potencia nominal: 36 ciclos / hora. Variable z
- 3- Por otro lado, el control del compresor no es capaz de ajustar por sí solo los ciclos de carga-descarga, por lo que para llevar a cabo este ejercicio es necesario considerar un ajuste de presión al control del compresor, cuyo valor para este análisis es basado en una presión diferencial de 0,703 Kg/cm² (10 PSIG) (0,689 BAR). variable D_p .

$$VR = \frac{V1 \times (DF - DF^2)}{(Z \times Dp)}$$

Donde:

VR = Volumen real del tanque en [m³] ¿?

V1 = (1423,77) [m³/h] => compresor N.º 1 (468 ACFM) + compresor #3 (370 ACFM)

V2 = Demanda de aire de la planta [m³/h] ¿?

Z= Número de ciclos carga – descarga permitidos por hora por el compresor. (36)

Dp = Diferencial de presión del compresor (0,689) [bar]

DF = V2 / V1 = factor de carga (0,79)

$$VR = \frac{1423,77 \times (0,79 - 0,79^2)}{(36 \times 0,689)} = 9,52 \text{ m}^3$$

VR = 9520,00 litros (2514,91 galones), donde lo que se tiene actualmente instalado es 6813.741litros (1 800 galones)

El volumen requerido restante por comprar será de 2702,78 litros (714 galones). Sin embargo, la compañía decidió comprar un pulmón de 5 000 litros (1320 galones), lo cual está bien, ya que la teoría expuesta en el marco teórico dice que los acumuladores deben estar lo más cercanos al sector de compresores, y el acumulador de inyección quedaría muy lejos.

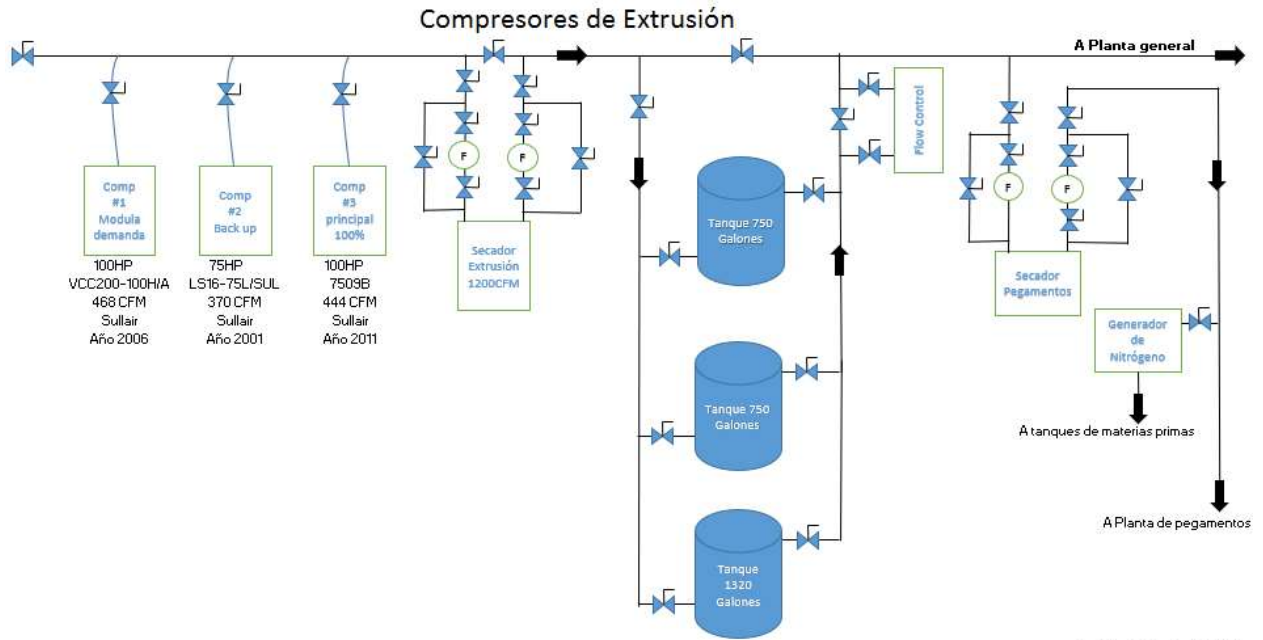


Figura 31 Configuración compresores con 3 acumuladores

La adquisición del tanque tuvo un costo de USD 10 216,80 y la instalación la hará el personal interno de mantenimiento.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

Conclusión 1

Durman cuenta con una gran cantidad de activos fijos en las plantas productivas. La mayoría de los equipos productivos con que cuenta son relativamente similares en operación, por lo que el levantamiento de máquinas consumidoras de aire comprimido se basó en la cantidad de líneas productivas y en sus valores mínimos de presión, así como en el requerimiento teórico de volumen de aire. Esto quedó plasmado en las tablas 1 y 2.

Conclusión 2

Se determinó que los equipos de CNC de la marca OKUMA, la erosionadora de hilo del sector de inyección y los equipos de arrastre (haladoras) del sector de extrusión son los equipos afectados de la red, es decir, que son sensibles a la baja presión.

Conclusión 3

Durman cuenta con instrumentos de medición para el análisis de variables de energía eléctrica, lo que facilitó obtener la documentación del consumo de energía eléctrica en los compresores, de previo a la reducción de la presión en planta. Dichos datos quedaron a disponibilidad de la gerencia de mantenimiento para usarlos en inspecciones futuras. La base de datos queda respaldada en la PC de mantenimiento y en el software del equipo Fluke 1735.

Los instrumentos necesarios para la evaluación energética de los equipos de aire comprimido son herramientas mecánicas y eléctricas que se utilizan para tomar las lecturas de las diferentes variables, pero cabe resaltar que la herramienta más importante es la correcta documentación e interpretación de la información para el éxito de un estudio de consumo de energía.

Conclusión 4

En la mayoría de las plantas los sistemas de aire comprimido tienen suficiente capacidad. El problema es distribuir esa capacidad donde y cuando se necesita en el sistema. Las demandas máximas a menudo superan la capacidad generada, por lo que la deficiencia se compensa extrayendo aire del sistema de distribución. Para compensar estas demandas se suele aumentar la presión del sistema, lo que conduce a un importante desperdicio de energía. El exceso de oferta no es la

respuesta. La respuesta es entregar el flujo, la presión y el nivel de calidad del aire necesarios al menor costo, ni más ni menos.

Los controladores Sullair FlowLogic proporcionan una solución basada en el producto, en el enfoque del sistema de aire total mediante la gestión de la distribución de aire comprimido a la producción. Esto se hace al crear un almacenamiento aguas arriba y al direccionar su flujo hacia el sistema de aire de la planta.

La cámara acústica industrial Fluke ii900 es un equipo portátil que incorpora una matriz de micrófonos los cuales amplían el campo de visión por medio de la frecuencia en rangos de 2 KHz a 52 KHz, lo que permite a los técnicos de mantenimiento localizar de manera rápida y precisa fugas de vacío, gas y aire comprimido, a distancias de 0,5m a 50m y en función de las condiciones ambientales. Diseñada en especial para centros de producción con altos niveles de ruido, la nueva tecnología SoundSight™ es muy fácil de manejar y de implementar.

Gracias a la colaboración de los proveedores externos se determinó que la incorporación de equipos tecnológicos, como el controlador de flujo Flowlogic FL1000, la cámara acústica industrial Fluke ii900, el analizador de variables Fluke 1735 y la recolección de datos en línea, es la mejor opción que el mercado ofrece hoy en día para incluir en este proyecto.

Conclusión 5

Por medio del diagnóstico del sistema de aire comprimido se determinaron las condiciones adecuadas para lograr generar una mejor eficiencia del sistema, entre las que se enumeran las siguientes: la pérdida de aire comprimido en fugas es de 17,5 % y el valor aceptable de estas no debe sobrepasar 6%, lo cual muestra que la red de Durman se encuentra en un rango **no** aceptable, lejos de la condición ideal que plantea la literatura, que es de entre 10 y 15%. Este nivel de fugas representa una pérdida de USD 16 929,7 anual, que se traducirá en ahorro en la medida en que sean atendidas.

La reubicación de equipos marcó un ahorro de 22,14% (USD 43 165,99 anual), mientras que la baja de la presión de la red e integrar el control de flujo representó un ahorro de 12,14%, USD 16 549,92 anual, para un total de 34,28%. Por ello la conclusión es que se superó la expectativa inicial de 5% de ahorro en energía.

Conclusión 6

La empresa Durman ya contaba con una gestión para el mantenimiento preventivo de los sistemas de aire comprimido y los compresores. En la plataforma PM de SAP las rutinas ya estaban creadas por lo que no fue necesario generarlas. Solamente hubo necesidad de reactivarlas en el sistema para que se programara la ejecución.

Se impartió una charla para explicar la necesidad de ejecutar los mantenimientos en los periodos y frecuencias establecidos.

Para el mantenimiento de los compresores se negoció un cambio con el proveedor externo según el cual la ejecución pasó de fechas fijas a gestionar por horas de trabajo operativas. Esto redujo los costos por mantenimiento externo y generó ahorros mensuales de USD 296,35 (USD 3 556,2 anual).

Recomendaciones

- La planta de Durman Esquivel está en constante cambio, renovando equipos, sustituyendo otros de mayor eficiencia y con tecnologías más avanzadas. Solo en el periodo 2017 al 2019 renovaron tres líneas productivas completas en extrusión y en el presente año 2020 renovaran cuatro equipos de inyección. Esto lleva a recomendar que para compras futuras de equipos se tome en consideración el dato de presión mínima a la que la planta opera, ya que si no se especifica podría entrar un equipo con requerimiento mayor y esto provocaría que se incremente el gasto de energía, por subir la presión de la red.
- Se recomienda eliminar las estaciones de limpieza manual, no solo por el ahorro energético sino por un aspecto de seguridad para las personas.
- Impartir charlas informativas sobre las buenas prácticas del uso del aire comprimido. Capacitar al personal en la adecuada selección de sistemas filtrantes (unidades de mantenimiento) para los equipos.
- La gestión del mantenimiento preventivo de la empresa Durman tiene capacidad técnica para trabajar en la solución de los hallazgos detectados, así como para mejorar el alcance de la ejecución de las rutinas de mantenimiento preventivo de los equipos productivos, ya que solo requieren un acompañamiento por parte de sus supervisores para lograr ampliar la visión de la ejecución.

- Analizar y comparar periódicamente los índices de eficiencia (potencia activa y nivel de fugas) que se utilizaron para el presente informe, ya que es en el control riguroso que se encuentra gran parte del ahorro.
- No abandonar la buena práctica de búsqueda de fugas con el equipo de ultrasonido LD400.
- La constancia en la mejora de la gestión del mantenimiento aumenta la vida útil de los equipos y también disminuye la posibilidad de fallas, esto aumentando el indicador de TMEF (tiempo medio entre fallas), por lo que se recomienda que se evalúen constantemente las frecuencias de ejecución de los mantenimientos; es decir, hacer un análisis crítico de si es posible aumentar el tiempo entre una ejecución y la otra. Esto aportaría ahorros en la gestión. Un buen motivo para realizar este ejercicio sería considerar el análisis de fugas de la propuesta N.º 2, en la que se planteó que se haga cada seis meses en el primer año y medio y posteriormente pasar a inspecciones anuales. Si en el segundo mes los indicios de fugas indican una constancia se podría pasar a inspecciones anuales inmediatamente.

BIBLIOGRAFIA

- ¿Quiénes somos, Durman Centroamérica (2018-2019), <https://www.durman.com/quienes.html>
- Especificación de productos Sullair, (2019), SFL Series FlowLogic™ Flow Controllers <http://america.sullair.com/products/sfl-series-flowlogictm-flow-controllers>
- Especificación de productos Sullair, (2019), Refrigerated Compressed Air Dryers. http://www.amcompair.com/products/brochures/sullair_brochures/Sullair%20Refrigerated%20Dryers.pdf
- José Miguel Bonilla Gutiérrez (2014), Tecnológico de Costa Rica: Diseño de la red principal de aire comprimido de la planta CEMEX, Colorado, Abangares, Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5813/dise%C3%B1o-red-aire-comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eduardo Antonio Barria Almonacid (2005), El aire comprimido a bordo. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcib275a/doc/bmfcib275a.pdf>
- Carlos Fernández Zhimnaycela Reino y Dario Alfonso Camposano Filian, (2011), Implementación de un sistema de Aire comprimido para taller de mecánica automotriz, Guayaquil, Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21356/1/Proyecto%20Camp-Zhim.pdf>
- Los gases y las leyes experimentales de los gases (2019) <http://elbibliote.com/resources/Temas/html/1496.php>
- Secador de membrana: ¿qué es y cómo Funciona? (2018) <https://www.airecomprimidoblog.es/secador-de-membrana/>
- Secadores de membrana <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-de-membrana/>
- E. Carnicier Royo, Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las instalaciones, Gustavo Gili S.A., Barcelona 1977

- La filtración en las líneas de aire comprimido
<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>
- IMI Norgren, SA. (2006). Aire Comprimido – La guía Norgren para el Tratamiento del Aire. USA: Norgren.
- Programa integral de “Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica de Guatemala”
[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20\(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos).pdf)
- Carlos Muñoz Razo, (2011), ¿Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis, segunda edición, PEARSON EDUCACIÓN, México.

ANEXOS

Anexo 1 Consumo de aire por centímetro de carrera

Diámetro cilindro, mm	Presión de trabajo en atmósferas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	q = consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0.0005	0.0008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0025	0.0027	0.003	0.0033	0.0036	0.0038	0.0041	0.0044
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.018
16	0.004	0.006	0.008	0.01	0.011	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.029	0.032
25	0.01	0.014	0.019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062	0.067	0.070	0.076
35	0.019	0.028	0.038	0.047	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.121	0.131	0.140	0.149
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.11	0.122	0.135	0.146	0.157	0.171	0.183	0.195
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210	0.229	0.248	0.267	0.286	0.305
70	0.076	0.113	0.15	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.443	0.485	0.523	0.560	0.597
100	0.155	0.231	0.307	0.383	0.459	0.535	0.611	0.687	0.763	0.839	0.915	0.991	1.067	1.143	1.219
140	0.303	0.452	0.601	0.75	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942	2.091	2.240	2.389
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.660	3.964	4.268	4.572	4.876
250	0.966	1.441	1.916	2.392	2.867	3.342	3.817	4.292	4.768	5.243	5.718	6.193	6.668	7.144	7.619

Tabla 9 Consumo de aire por centímetro de carrera

Anexo 2. Tarifas eléctricas del ICE

<https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/Tarifas+actuales.pdf?MOD=AJPERES>

Anexo 3 Descarga de aire por un orificio

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
SOLUCIONES DE AIRE COMPRIMIDO DE SULLAIR



Ref: 15-090803.002

DESCARGA DE AIRE A TRAVÉS DE UN ORIFICIO

Presión corriente antes del orificio, psi	Diámetro nominal, pulg.										
	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
	Descarga, Pies ³ de aire libre por min.										
1	.028	0.112	0.450	1.80	7.18	16.2	28.7	45.0	64.7	88.1	115
2	.040	0.158	0.633	2.53	10.1	22.8	40.5	63.3	91.2	124	162
3	.048	0.194	0.775	3.10	12.4	27.8	49.5	77.5	111	152	198
4	.056	0.223	0.892	3.58	14.3	32.1	57.0	89.2	128	175	228
5	.062	0.248	0.993	3.97	15.9	35.7	63.5	99.3	143	195	254
6	.068	0.272	1.09	4.34	17.4	39.1	69.5	109	158	213	278
7	.073	0.293	1.17	4.68	18.7	42.2	75.0	117	168	230	300
9	.083	0.331	1.32	5.30	21.1	47.7	84.7	132	191	260	339
12	.095	0.379	1.52	6.07	24.3	54.6	97.0	152	218	297	388
15	.105	0.420	1.68	6.72	26.9	60.5	108	168	242	329	430
20	.123	0.491	1.98	7.88	31.4	70.7	126	196	283	385	503
25	.140	0.582	2.25	8.98	35.9	80.9	144	225	323	440	575
30	.158	0.633	2.53	10.1	40.5	91.1	162	253	365	496	648
35	.176	0.703	2.81	11.3	45.0	101	180	281	405	551	720
40	.194	0.774	3.10	12.4	49.6	112	198	310	446	607	793
45	.211	0.845	3.38	13.5	54.1	122	216	338	487	662	865
50	.229	0.916	3.66	14.7	58.6	132	235	366	528	718	938
60	.264	1.08	4.23	16.9	67.8	152	271	423	609	826	1,082
70	.300	1.20	4.79	19.2	76.7	173	307	479	690	939	1,227
80	.335	1.34	5.36	21.4	85.7	193	343	536	771	1,050	1,371
90	.370	1.48	5.92	23.7	94.8	213	379	592	853	1,161	1,516
100	.408	1.62	6.49	26.0	104	234	415	649	934	1,272	1,661
110	.441	1.78	7.05	28.2	113	254	452	705	1,016	1,383	1,808
120	.478	1.91	7.62	30.5	122	274	488	762	1,097	1,494	1,951
125	.494	1.98	7.90	31.6	128	284	506	790	1,138	1,549	2,023

- Según un coeficiente de circulación al 100%. Si la entrada es perfectamente redondeada, multiplicar los valores por 0,97. Si los bordes del orificio son irregulares, se debe utilizar un multiplicador de 0,65.
- Esta tabla presenta sólo resultados aproximados. Para obtener valores exactos, consulte el Código ASME de Pruebas de Potencia ("Power Test Code") sobre medición de la circulación de volumen sobre velocidad.
- Los valores para las presiones que van de 1 a 15 psig se calculan según una fórmula adiabática estándar.
- Los valores para las presiones por encima de los 15 psig se calculan utilizando la fórmula aproximada propuesta por S.A. Moss: $w = 0,5303 a C p_1 \sqrt{T_1}$ donde w = descarga en libras por seg, a = área del orificio en pulg.², C = coeficiente de circulación, p_1 = presión total corriente arriba en psia, y T_1 = temperatura corriente arriba en grados F absol.
- Los valores utilizados para hacer los cálculos de la tabla anterior fueron $C = 1,0$, p_1 = presión manométrica + 14,7 psi, $T_1 = 530$ grados F absol.
- Los pesos (w) fueron convertidos a volúmenes utilizando un factor de densidad de 0,07494 libras por pie cúbico. Esto es válido para el aire seco a 14,7 psia y 70° F.
- La fórmula no se puede usar cuando p_1 es menor que el doble de la presión barométrica.

Derechos de autor © Corporación Sullair, 2004 — Todos los derechos reservados

Tabla 10 Descarga de aire (fuga) a través de un orificio

Anexo 4 Cotización de la inspección de fugas



ELVATRON S.A
Cédula Jurídica N° 3-101-020826-35
Tel.: 2242-9900 - Fax.: 2520-0697
425 mts Norte de la Entrada Principal de la CNFL
Costa Rica, San José, Central, La Uruca,
www.elvatron.com

Cotización No.
P15-GE37T4 Versión: 1

Página: 1 de 1	
Fecha de emisión: 16/01/2020	
Fecha de vencimiento: 24/01/2020	

Asunto: Servicio de inspección de fugas de aire Comprimido WOW P15-GE36R7

Cliente: DURMAN	Condición de venta: Crédito a 30 días
Dirección: CALLE BLANCOS	Vendedor: Jose Campos Cel: ND
Contacto: Jonathan Valverde Ramirez	Teléfono: +506 22429979 Fax: 25200809
C/T: jvalverde@alixis-la.com/+505 8712 5008	Correo: jose.campos@elvatron.com

LIN.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	T.ENTREGA	PRECIO UNL	TOTAL LÍNEA
1	ELX-5-S-FK	CST SERVICIO CAMPO FLUKE CON CAMARA ACUSTICA, 2 HORAS DE SERVICIO MINIMO	1	01-02 SEMANAS	\$ 650.00	\$ 650.00
2	ELX-5-S-FK	HORA ADICIONAL POR EL SERVICIO DE INSPECCIÓN DE FUGAS	6	01-02 SEMANAS	\$ 200.00	\$ 1,200.00

Notas: Entregables posterior al servicio Reporte del servicio realizado, cual incluiría además de las imágenes capturadas en campo. Cálculo de retorno de inversión en compra de instrumento según pérdida identificadas. Cálculo aproximado de desperdicio cuantificado en dólares, producto de las fugas identificadas.

SUB - TOTAL	\$ 1,850.00
IVA	\$ 240.50
TOTAL	\$ 2,090.50

Anexo 5 Datos técnicos de compresores.

3.1 CUADRO DE CARACTERÍSTICAS				
60 Hz:				
Modelo (I)	CV	Capacidad CFM		LONGITUD IN
		LS200	VCC	
100-L	100	500	511	88
100-H	100	477	468	88
100-HH	100	418	-	88
100-XH	100	383	-	88
50 Hz:				
Modelo (I)	KW	Capacidad M ³ /MIN		LONGITUD MM
		LS200	VCC	
100-L	75	14.2	14.8	2235
100-H	75	13.0	13.4	2235
100-HH	75	12.0	-	2235
100-XH	75	10.7	-	2235

SPECIFICATIONS

3.1 TABLE OF SPECIFICATIONS (CONTINUED)

LS-16 SERIES 60 Hz		CAPACITY ACFM	LENGTH IN	WIDTH IN	HEIGHT (H) IN	WEIGHT LB
MODEL (I)	HP					
L	60	299	72	48	60	2680 (VIII)
	75	370	72	48	60	2690 (VIII)
	100	450	72	48	59.4 (VII)	2740 (IX)
H	60	258	72	48	60	2680 (VIII)
	75	326	72	48	60	2690 (VIII)
	100	430	72	48	59.4 (VII)	2740 (IX)
HH	60	231	72	48	60	2680 (VIII)
	75	289	72	48	60	2690 (VIII)
XH	75	268	72	48	60	2690 (VIII)

COMPRESSOR:

Type:
Standard Operating Pressure (X):
Bearing Type:
Ambient Temperature (Max.) (XI):
Cooling:
Compressor Fluid:
Sump Capacity:
Control:

MOTOR (XII):

Size:
Type:

STANDARD MODELS

Rotary Screw
100 psig (6.9bar) (L) 140 psig (9.7 bar) (HH)
115 psig (7.9bar) (H) 175 psig (12 bar) (XH)
Anti-Friction
105_F (41_C)
Pressurized Fluid
Sullair Sullube
8.0 U.S. gallons (30 liters)
Electro-Pneumatic
Supervisor II (optional)

STANDARD MODELS

50, 60, 75 and 100HP/ 37, 45, 56 and 75 KW
C-Flanged, Open Drip-proof, Premium Efficiency
Three Phase, 230/460 60 Hz, 380-415(400) 50 Hz
40_C Maximum Ambient Temperature



7500B Series - 100 HP 60 Hz Horsepower Rated

MODEL	7507B	7509B	7510B	7512B
Compressor Performance*				
Full Load Pressure - psig	100	125	150	175
Capacity at Full Load Pressure - acfm	490	444	398	370
Power at Full Load Pressure - bhp	112.4	109.0	107.4	108.8
Package kW Air-Cooled	90.4	87.7	86.5	87.6
Package kW Water-Cooled	88.1	85.5	84.3	85.3
Gear Ratio	2.52	2.26	2.03	1.91
Cooling Data				
Fluid Flow - gpm	23.0	21.0	23.0	23.0
Heat Rejection - Fluid Clr. BTU/min.	3873	3813	3822	3930
Heat Rejection - Aft. Clr. BTU/min.	894	809	723	672

Water-Cooled Series Flow (w/aftercooler)

Anexo 6 Análisis de costos estimados por fugas

AIR-LEAK SIZE & COST ESTIMATOR

Instructions

- 1) Input your systems operation hours per year
- 2) Input your cost of electricity
- 3) Insert pressure and leak size, either orifice size or subjective size as follows:
 - Small (1/32"): barely or not audible at all, feels like a light air gust to the touch
 - Medium (1/6"): audible from a couple of feet, feels like a mild air stream to the touch
 - Large (> 1/8"): noisy from the distance, feels like a strong air jet

This calculator is designed to be informational and educational only. This model is provided as a rough approximation of the energy savings you could experience by repairing leaks found with the Fluke ii900 Sonic Industrial Imager. The calculator is not a commitment to actual energy savings or an indication of purchase advice. The results presented by this calculator are hypothetical and may not reflect actual results at your facility. The calculations are based on industry averages and proprietary research conducted by the Fluke Corporation. We strongly recommend that you independently calculate your individual return on investment prior to making a tool purchase.

AIR-LEAK SIZE & COST ESTIMATOR

Inputs

KW/CFM	0,16	(16kW to produce 100CFM)
Operation h per year	7224	h/y
Cost of Electricity	\$0,130	\$/kWh

#	Pressure	Leak Size	Leak Flow Rate (CFM)	Leak Cost (\$/year)	Notes (Número de imagen en reporte inspección)
	TOTAL LEAKS	25	39	\$16.261	
1	72	Small	1	\$153	
2	72	large	16	\$2.447	
3	82	Small	1	\$172	
4	82	Small	1	\$172	
5	82	Small	1	\$172	img 08
6	82	Small	1	\$172	img 11
7	82	Small	1	\$172	img 13
8	82	Small	1	\$172	img 14
9	82	Small	1	\$172	img 16
10	82	Small	1	\$172	img 17
11	82	Small	1	\$172	img 18
12	82	Small	1	\$172	img 19
13	82	Small	1	\$172	img 24

14	82	medium	5	\$690	img 27
15	82	medium	5	\$690	img 28
16	82	Small	1	\$172	img 29
17	82	large	18	\$2.759	img 30
18	82	Small	1	\$172	img 31
19	82	Small	1	\$172	img 32
20	82	large	18	\$2.759	img 34
21	82	medium	5	\$690	img 35
22	82	Small	1	\$172	img 36
23	82	large	18	\$2.759	img 37
24	82	Small	1	\$172	img 38
25	65	medium	4	\$557	img 39
Notes (Número de imagen en reporte inspección)					
#	Pressure	Leak Size	Leak Flow Rate (CFM)	Leak Cost (\$/year)	
TOTAL LEAKS		25	62	\$13.623	
1	82	Small	1	\$172	img 40
2	82	medium	5	\$690	img 41
3	82	large	18	\$2.759	img 42
4	82	Small	1	\$172	img 43
5	82	Small	1	\$172	img 44
6	82	Small	1	\$172	img 45
7	82	Small	1	\$172	img 46
8	82	Small	1	\$172	img 47
9	82	medium	5	\$690	img 48
10	82	medium	5	\$690	img 49
11	82	large	18	\$2.759	img 50
12	82	Small	1	\$172	img 51
13	82	Small	1	\$172	img 52
14	82	Small	1	\$172	img 53
15	82	Small	1	\$172	img 54
16	82	Small	1	\$172	img 55
17	82	Small	1	\$172	img 56
18	82	Small	1	\$172	img 57
19	82	large	18	\$2.759	img 58
20	82	Small	1	\$172	img 59
21	82	Small	1	\$172	img 60
22	82	Small	1	\$172	img 61
23	82	Small	1	\$172	img 62
24	82	Small	1	\$172	img 63
25	82	Small	1	\$172	img 64

#	Pressure	Leak Size	Leak Flow Rate (CFM)	Leak Cost (\$/year)	Notes (Número de imagen en reporte inspección)
TOTAL LEAKS		21	48	\$14.485	
1	82	large	18	\$2.759	img 65
2	82	Small	1	\$172	img 66
3	82	Small	1	\$172	img 67
4	82	Small	1	\$172	img 68
5	82	Small	1	\$172	img 69
6	82	medium	5	\$690	img 70
7	82	medium	5	\$690	img 71
8	82	Small	1	\$172	img 72
9	82	Small	1	\$172	img 73
10	82	Small	1	\$172	img 74
11	82	medium	5	\$690	img 75
12	82	medium	5	\$690	img 76
13	82	Small	1	\$172	img 77
14	82	Small	1	\$172	img 78
15	82	Small	1	\$172	img 79
16	82	medium	5	\$690	img 80
17	82	Small	1	\$172	img 81
18	82	medium	5	\$690	img 82 estimado de salida
19	82	Small	1	\$172	img 83
20	82	large	18	\$2.759	img 84
21	82	large	18	\$2.759	img 85

Nota: El estimador de costo viene dado directamente por FLUKE, es ajeno a nuestro dominio en el cálculo y suma de las cantidades de cada una de las fugas por lo que solo se pueden sumar las 25 primeras fugas por eso es que los cálculos vendrán en tres tablas diferentes.

Primer bloque -> \$16.261 (tabla 1)

Segundo bloque -> \$13.623 (Tabla 2)

Tercer bloque -> \$14.485 (Tabla 3)

Para un total de \$44369 -> Gasto estimado (por año en fugas)

Anexo 7 Análisis de ROI por la compra del equipo.

Fluke ii900 ROI Calculator

https://fluke.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_6R6udA73XjM7Dr7?v1=FWEB



www.fluke.com

Return on Investment Estimation

Company Name

DURMAN

Industry

Process Manufacturing - Other

Date

2020-3-18

Total Installed Compressor Power

175 HP

Total Air Capacity (estimated)

735 CFM

Total Air Flow to Plant (estimated)

551 CFM

Your Cost of Electricity

0.13012 \$/kWh

Operating Hours per Year

6418 hr/y

Total Annual Cost of Compressed Air (estimated)

90816 \$/y

Annual Cost of Electricity due to Leaks (estimated)

27245 \$/y

Annual Cost of Leak Repairs (estimated)

1362 \$/y

Investment in Fluke ii900


21799 \$

ii900 ROI (estimated payback time)


11 months

This calculator is designed to be informational and educational only. This model is provided as a rough approximation of the energy savings you could experience by repairing leaks found with the Fluke ii900 Sonic Industrial Imager. The calculator is not a commitment to actual energy savings or an indication of purchase advice. The results presented by this calculator are hypothetical and may not reflect actual results at your facility. The calculations are based on industry averages and proprietary research conducted by the Fluke Corporation. We strongly recommend that you independently calculate your individual return on investment prior to making a tool purchase.

Anexo 8. Cotizaciones de la reubicación de equipos



DURMAN ESQUIVEL S.A.
 Cédula Jurídica N° 3-101-009738-27
 Tele Central (506) 2436-4700 Fax (506) 2436-4800
 Contigra a la Compañía Dos Pisos El Coyoil de Alajuela
 Apart. 6158-1000 San José, Costa Rica
 E-mail: cotiza@durman.com - www.durman.com
 Código de Exportador: 128



DURMAN ESQUIVEL S.A.
 Cédula Jurídica N° 3-101-009738-27
 Tele Central (506) 2436-4700 Fax (506) 2436-4800
 Contigra a la Compañía Dos Pisos El Coyoil de Alajuela
 Apart. 6158-1000 San José, Costa Rica
 E-mail: cotiza@durman.com - www.durman.com
 Código de Exportador: 128

ORDEN DE COMPRA NACIONAL

No. de orden
4501088204 / 23.12.2016
 Compras nacionales
 Núm. Tel.: +50624364735 Ext. 4735
 Email: Dsaenz@aliaxis-la.com
 Núm. Fax: 24364835

FONT SERVICIOS ELECTROMECANICOS S.A.
 URUCA FRENTE A LA POZUELO 100 ESTE

Proveedor: 101126
 Contacto: CARLOS VARGAS ALVAREZ - Tel:2296-9922 Fax:2220-1854

Sírvase entregar a:
 Durman Esquivel - Coyoil
 Coyoil - Alajuela
 1000 ALAJUELA
 COSTA RICA

ORIGINAL
 "LA FACTURA ORIGINAL DEBE SER TRAMITADA EN EL CAJERO DEL BAC SJ, EN EL COYOIL, EL PLAZO DE CREDITO RIGE A PARTIR DE ESTA FECHA DE TRAMITE."

SOLICITANTE JONATHAN VALVERDE
 SOLICITUD 10647470
 PROFORMA SIN ADJUNTA
 BODEGA DE SUMINISTROS PLANTA
 Cond.pago: dentro de los 45 días sin DPP Moneda USD

Pos	Material	Descripción	Cd.pedido	Unidad	Precio unit	Valor neto
0010		REUBICACION DE EQUIPOS Fecha de Entrega 22.12.2016	1	Servicio	11156.00000	11,156.00
					Precio Bruto	11,156.00
					TOTAL COMPRA NACIONAL	11,156.00
					Moneda USD	

HORARIO DE RECIBO A PROVEEDORES
 DEBEN VALER DESDE 7:30AM A 12:00PM Y DE 1:30PM A 5:00PM.
 SE RECIPIEN PRODUCTOS Y SERVICIOS EN ESTE MES HASTA:

26 ENE. 2017

ORDEN DE COMPRA NACIONAL

No. de orden
4501087947 / 13.12.2016
 Compras nacionales
 Núm. Tel.: +50624364735 Ext. 4735
 Email: Dsaenz@aliaxis-la.com
 Núm. Fax: 24364835

FONT SERVICIOS ELECTROMECANICOS S.A.
 URUCA FRENTE A LA POZUELO 100 ESTE

Proveedor: 101126
 Contacto: CARLOS VARGAS ALVAREZ - Tel:2296-9922 Fax:2220-1854

Sírvase entregar a:
 Durman Esquivel - Coyoil
 Coyoil - Alajuela
 1000 ALAJUELA
 COSTA RICA

ORIGINAL
 "LA FACTURA ORIGINAL DEBE SER TRAMITADA EN EL CAJERO DEL BAC SJ, EN EL COYOIL, EL PLAZO DE CREDITO RIGE A PARTIR DE ESTA FECHA DE TRAMITE."

SOLICITANTE JONVALVERDE
 SOLICITUD 10643309/16 A 30
 ALMACEN SUMINISTROS PLANTA
 PROFORMA:14136
 P.U.

Cond.pago: dentro de los 45 días sin DPP Moneda USD

Pos	Material	Descripción	Cd.pedido	Unidad	Precio unit	Valor neto
0010		INST RELE DE VIGILANCIA TRIFASICO Fecha de Entrega 15.12.2016	7	Servicio	247.90000	1,735.31
0020		INTS EQUIPO INDUSTRIAL Fecha de Entrega 15.12.2016	1	Servicio	1583.31000	1,583.31
0030		MATERIALES INSTALACION INDUSTRIAL Fecha de Entrega 15.12.2016	1	Servicio	384.52000	384.52
					Precio Bruto	4,093.00
					Total Impuesto	275.58
					TOTAL COMPRA NACIONAL	3,978.72
					Moneda USD	

HORARIO DE RECIBO A PROVEEDORES
 DEBEN VALER DESDE 7:30AM A 12:00PM Y DE 1:30PM A 5:00PM.
 SE RECIPIEN PRODUCTOS Y SERVICIOS EN ESTE MES HASTA:

23 DIC 2016

Anexo 9 Cotización del acumulador

KAESER COMPRESORES DE COSTA RICA
LIMITADA
300 METROS NORTE DE LA PEPSI
OFIBODEGAS BARREAL II ETAPA

Proveedor: 122069
Contacto: OTTO BARILLAS - Tel: Fax:NA

Sírvase entregar a :
Duman Esquivel - Coyol
Coyol - Alajuela
1000 ALAJUELA
COSTA RICA

ORDEN DE COMPRA NACIONAL

No. de orden
4501110745 / 18.11.2019
Compras nacionales
Núm. Tel.:+50624364735 Ext. 4735
Email: Dsaenz@alixaxis-la.com
Núm. Fax: 24364835

SOLICITANTE JVALVERDE
SOLICITUD 10965641/10 A 30
ALMACEN SUMINISTROS PLANTA
PROFORMA: 86064776

ORIGINAL

Cond.pago: dentro de los 45 días sin DPP Moneda USD

Pos	Material	Descripción	Cd.pedido	Unidad	Precio unit	Valor neto
0010		TANQUE ACUMULADOR Modelo: 5000 I P1		1 Unidad	5930.40000	5,930.40
		!!! ENTREGA DE 4 A 5 SEMANAS !!!!				
		Fecha de Entrega 02.01.2020				
0020		TANQUE ACUMULADOR Modelo: 5000 I P2		1 Unidad	3430.40000	3,430.40
		!!! ENTREGA DE 4 A 5 SEMANAS !!!!				
		Fecha de Entrega 02.01.2020				
0030		Accesorios p. depósito 5000/11 vertical		1 Unidad	856.00000	856.00
		!!! ENTREGA DE 4 A 5 SEMANAS !!!!				
		Fecha de Entrega 02.01.2020				
					Precio Bruto	12,771.00
					Total Impuesto	1,328.18

OFERTA ECONOMICA

Pos.	Denominación	Material	Cantidad	UM	Precio USD	Total USD
10	Depósito de aire comprimido 5000/11 ST.	3.5382.10290	1.000	PZA	11,701.00	11,701.00
20	Accesorios p. depósito 5000/11 vertical	8.3555.00010	1.000	JUE	1,070.00	1,070.00
SUBTOTAL						12,771.00
Descuento						2,554.20-
SUBTOTAL						10,216.80
IVA						0.00
Total en USD						10,216.80

Garantía:

1 año por defectos de fabricación para el resto de componentes. Se excluye el caso de mala instalación, mala operación, daño intencional, desastres naturales y variaciones drásticas en energía eléctrica.

Condiciones de pago

60 días crédito

Precios no incluyen el 13% de I.V.

Entrega (Incoterms®2010)

EXW Costa Rica

Validez de la oferta

24.12.2019

Anexo 10 Eestudio de eficiencia compresores



DURMAN ESQUIVEL
#3 FONT.pdf

Anexo #11 Estudio de fugas cámara acústica Fluke ii900



Reporte Detección
de Fugas_DURMAN_2



Fluke ii900 ROI
Calculator.pdf



ESTIMADO GASTOS
FUGAS.pdf

Anexo 12 Hoja de cálculo de Excel



cálculos varios.xlsx