

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE
HENKEL LA LUZ S.A.**

INGENIERO MECÁNICO EDWIN ESTUARDO RODAS ARREAGA

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE
HENKEL LA LUZ S.A.**

POR

INGENIERO MECÁNICO EDWIN ESTUARDO RODAS ARREAGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi estudio especial de graduación titulado:

ESTUDIO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE HENKEL LA LUZ S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, el 17 de marzo de 2007.

Edwin Estuardo Rodas Arreaga

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
1. CONTENIDO	1
1.1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1.1. GENERALIDADES.....	1
1.1.1.1. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	1
1.1.1.2. ACTIVIDAD QUE REALIZA LA PLANTA	1
1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	2
1.1.3.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	3
1.1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	3
1.1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
1.1.5. ALCANCE DEL TRABAJO.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	9
2.2. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA MAQUINARIA	9
2.3. FUGAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	12
2.4. CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA DE AIRE	14
2.5. CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL SISTEMA DE AIRE	15
2.6. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE AIRE.....	16
3. TRABAJO PROPUESTO	20
3.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE	20
3.1.1. Descripción actual del equipo de suministro de aire	20
3.1.1.1. El compresor principal	20
3.1.1.2. El secador de aire	21
3.1.1.3. Compresor auxiliar No.1	22
3.1.1.4. Compresor auxiliar No.2	22
3.1.1.5. Compresor auxiliar No.3	22
3.1.1.6. Compresor auxiliar No.4	23
3.1.1.7. Compresor auxiliar No.5	23
3.1.1.8. Secador del compresor auxiliar No.5.....	23
3.1.1.9. Compresor auxiliar No.6	24
3.1.1.10. Secador del compresor auxiliar No.6.....	24
3.1.2. Descripción actual del equipo de distribución de aire.....	24
3.2. METODOLOGÍA.....	27
3.3. RESULTADOS	28
3.3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	28
3.3.2. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	29
3.3.3. ANÁLISIS DE FALLAS	36

3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

No.	Título	Pag.
3.1	Sistema aire comprimido actual.....	25
3.2	Equipo de medición ADA.....	27
3.3	Gráfica de presión en la generación.....	29
3.4	Gráfica de presión en la red.....	30
3.5	Gráfica de pérdida de presión en la red.....	30
3.6	Gráfica de medición de presión durante el estudio.....	31
3.7	Gráfica de entrega del compresor de 150 HP.....	31
3.8	Gráfica de entrega del compresor de 50 HP.....	32
3.9	Gráfica de entrega del compresor de 25 HP.....	32
3.10	Mediciones de todo el período.....	33
3.11	Demanda total de la planta.....	33
3.12	Consumo eléctrico por compresores.....	34
3.13	Perfil de demanda con consumo energético.....	34
3.14	Promedio de demanda con consumo energético.....	35
3.15	Árbol de fallas para el sistema de aire comprimido.....	36
5.1	Rediseño del sistema de aire comprimido.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Título	Pag.
1.1	Datos generales del proyecto.....	5
1.2	Ingreso de datos financieros.....	6
1.3	Cálculo de datos financieros.....	7
3.1	Capacidad instalada para generación.....	28
3.2	Consumo por línea de distribución.....	28
3.3	Costos anuales de electricidad.....	35

1. CONTENIDO

1.1. ASPECTOS GENERALES

1.1.1. GENERALIDADES

1.1.1.1. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La planta de Henkel La Luz, S.A. se encuentra ubicada en el kilómetro 18.5 carretera vieja a Antigua, 16-81 de la zona 1, en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala.

El acceso a la planta se lleva a cabo a través de la carretera Interamericana que se dirige hacia el occidente, ingresando al parque central del municipio de Mixco y luego dirigiéndose por la carretera que va hacia la aldea Alta Vista.

1.1.1.2. ACTIVIDAD QUE REALIZA LA PLANTA

La actividad de la planta, está destinada a la fabricación de detergentes, jabones de lavandería, jabones de tocador y productos de limpieza.

La Planta debido a las particularidades de sus procesos y materiales manejados, utiliza una variedad de equipos, tanto específicos para los diferentes procesos en cada una de las líneas de producción, como los de servicios que se encargan de suministrar la energía necesaria hacia las líneas de producción. Un ejemplo de éstas serían:

- Aparatos e Instalaciones a presión.
 - Sistemas de vapor.
 - Sistemas neumáticos.
 - Sistemas hidráulicos.
- Instalaciones eléctricas en Alta y Baja tensión.
- Otros.

El estudio está basado en el sistema general de aire comprimido de la planta el cual incluye el compresor principal, el secador de aire, los compresores auxiliares, los secadores auxiliares y la tubería que conforma la red que atraviesa por toda la planta y que alimenta a toda la maquinaria que trabaja por medio de aire comprimido (sistemas neumáticos).

1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“Bajo caudal y presión en el suministro de aire comprimido en la red principal, ocasionando el arranque de los compresores auxiliares para ayudar al compresor principal”.

1.1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

1.1.3.1. OBJETIVO GENERAL

“Determinar mediante un análisis de fallas cuales son las causas por las que el sistema de aire comprimido de Henkel La Luz no cumple con los requerimientos necesarios para proporcionar en todo momento un servicio adecuado a los equipos instalados en las líneas de producción que utilizan sistemas neumáticos”.

1.1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar mediante la técnica de recopilación de datos la cantidad de equipos que generan aire comprimido y las características que para cada uno ha definido el fabricante, así como el inventario de la maquinaria que utiliza el aire comprimido para su operación y los requerimientos de consumo y presión para cada una.
- b. Determinar por medio de un diagnóstico energético, las condiciones actuales a las que se encuentra trabajando el sistema tanto en la parte del suministro como en la demanda, y su comportamiento durante un período estipulado.
- c. Definir si es necesaria la adquisición de un nuevo conjunto de compresores con sus sistemas de tratamiento de aire comprimido para que trabajen como equipos principales del sistema, con el fin de optimizarlo.
- d. Visualizar o detectar las áreas de oportunidad en el sistema de aire comprimido.
- e. Realizar un análisis de costos, basados en las mejoras que se propongan para el sistema de aire comprimido.

1.1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

1.1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Debido a la gran cantidad de equipos neumáticos con que cuenta la maquinaria de las líneas de fabricación de jabones, detergentes y productos de limpieza, y a los altos requerimientos de producción de las mismas, el sistema de aire comprimido cumple un papel muy importante en dicho proceso productivo, así como también las otras áreas de servicios, por este motivo se hace necesario que la disponibilidad de dicho sistema sea alta, y que tanto los equipos principales de generación de aire comprimido como los equipos auxiliares se mantengan en excelentes condiciones de operación y cumplan en todo momento con los requerimientos de consumo y presión adecuados para que la distribución hacia los equipos que lo utilizan se mantenga de acuerdo a las necesidades que lo exijan.

El estudio del sistema de aire comprimido brinda la oportunidad de establecer los factores que lo afectan, para luego determinar utilizando los criterios adecuados, las alternativas o posibles soluciones para la optimización del mismo.

Tres metodologías importantes como lo son la recopilación de datos, el diagnóstico energético y el análisis de fallas se utilizan no solo para poder establecer los factores que afectan al sistema de aire comprimido, sino que también determinar las condiciones actuales de operación tanto de los equipos que suministran aire comprimido como del sistema de distribución, así como identificar y aprovechar una serie de áreas de oportunidad o prevenir al momento de encontrar algún área de riesgo.

Los resultados obtenidos sirven de base para obtener un conocimiento claro de la situación actual del sistema de aire comprimido, logrando con ello el planteamiento de recomendaciones para mejorar el sistema, tales como:

- Establecer programas de revisiones periódicas y limpiezas tanto para los equipos de generación como para la red de distribución.
- Realizar modificaciones en las tuberías de la red de distribución para mejorar su funcionamiento.
- Sacar de la red de distribución los equipos que trabajan a muy alta presión, utilizando los compresores pequeños para su alimentación, obteniendo con esto una reducción de presión en el sistema y por lo tanto ahorro en la energía.
- Instalar tanques pulmón en las áreas en donde se encuentra un consumo alto de aire comprimido, para que el sistema soporte un poco más al momento de existir picos en la demanda de aire comprimido.

- Adquirir un nuevo conjunto de compresores con su respectivo equipo para el tratamiento del aire comprimido, para que trabajen como equipos principales del sistema, y los equipos que actualmente se están utilizando como equipos auxiliares, obteniendo con ello un servicio adecuado en todo momento a los equipos instalados en las líneas de producción que utilizan sistemas neumáticos, así como eliminando el área de riesgo que existe actualmente.

1.1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Para poder desarrollar las recomendaciones es necesario conocer que cantidad de dinero debe invertirse y en cuanto tiempo retornará dicha inversión para con ello determinar si es factible poder desarrollarlas.

Los datos principales que se han utilizado en esta justificación son los siguientes

- El costo aproximado de la inversión para poder desarrollar los trabajos es de \$.142,000.00 .
- La pérdida de producción se calculo para un paro de aproximadamente 4 semanas de producción, ascendiendo a un costo de \$.129,000.00.
- El costo de oportunidad por la reducción de presión se basa en dos aspectos importantes como los son el porcentaje de reducción por cada 2 psi, el cual sería de 7.5% y el costo anual de energía eléctrica (\$.131,519.89), obteniendo un resultado de \$.9863.99.
- El costo de oportunidad en la compra de los equipos de aire se denota en el ahorro de energía eléctrica debido a la eficiencia con que trabajan los equipos nuevos y los sistemas de control de los mismos, obteniendo un 44.5% de ahorro en la energía, ascendiendo a un total de \$.58,521.89. Estos datos están basados en la propuesta económica presentada por los ingenieros de Kaeser Compresores de Guatemala.
- Los costos de mantenimiento asociado al sistema de aire comprimido corresponde al presupuesto del año 2007, con un total de \$.30,000.00.

Estos costos sirvieron para realizar los cálculos correspondientes como se muestra en las siguientes tablas, obteniendo como resultado una tasa interna de retorno (TIR) de 83.3% y un retorno de la inversión de 1.6 años, con lo que podemos asegurar que dicha inversión es rentable.

Tabla 1.1. Datos generales del proyecto

PRESUPUESTO 2007		Codigo
Requerimiento de Gastos de Capital (RGC)		Revision 0
- Expresado en miles de dolares -		Fecha
RGC No:		Paginas
DATOS GENERALES		
Descripcion del proyecto:	Realización propuestas de mejora al sistema de aire comprimido	
Justificacion:	Se trata de un equipo crítico, importante para el proceso productivo.	
Monto de la Inversion:	\$142,0	- Expresado en miles de dolares -
Sede:	M <input checked="" type="checkbox"/> LP <input type="checkbox"/> LM <input type="checkbox"/>	Otras (describa)
Empresa:	Henkel La Luz S.A.	
Tipo de Proyecto (Marque con una x)	Reemplazo <input type="checkbox"/> Sosteniendo <input checked="" type="checkbox"/> Capacidad <input type="checkbox"/> Racionalizacion <input type="checkbox"/> Mejorar Capacidad <input type="checkbox"/> Expansion y Diversificacion <input type="checkbox"/> Mejoramiento de Calidad <input type="checkbox"/> Social y Seguridad <input type="checkbox"/> Mejora de Medio Ambiente <input type="checkbox"/> Otros (Describir) <input type="checkbox"/>	
Datos de presupuesto Requerido en Dolares		
Capital	100	Fecha planeada de compra: abr-07
Gastos de Implementacion	42	
Total	142	Tasa Cambio plan: 7,65
Resumen datos Financieros (Calculos automaticos no tocar)		
VAH (Miles de O.)	\$273,2	PAYBACK (expresado en años) 1,6
TIR	83,3%	EBITDA (Promedio anual) (000's) US\$ \$157,5
Solicitado por:	Nombre	Firma Fecha
Autorizaciones:	Nombre	Firma Fecha
Niveles de autorizacion		
Para proyectos > de \$1,000.00 y < de \$10,000.00 - Gerente de Compras	Para proyectos > de \$ 100,000.00 y < de \$ 1,000,000.00 - Gerente General	
Para proyectos > de \$ 10,000.00 y < de \$ 100,000.00 - Subgerente General	Para proyectos > de \$ 1,000,000.00 Consejo de Administracion (Presidente)	

Tabla 1.2. Ingreso de datos financieros

Requerimiento de Gastos de Capital y Gastos asociados al Proyecto
(Todos los valores deberan de ser completados en Quetzales)

Año	Factores	0	1	2	3	4	5	Total
Tipo de Activo		Marque con un X el tipo de activo que se va a adquirir						
	Edificios					X	Computo	
	Herram.							
Inversión Inicial		Detalle de la Inversión por años						
Compra e instalación		142						142
								0
								0
								0
Subtotal		142	0	0	0	0	0	142
Acumulado		142	142	142	142	142	142	
Ventas Incrementales		Aplica solo si el proyecto genera ventas adicionales						
Ventas								0
Costo de Vtas Incrementales								0
Mgn. Bruto Incremental			0	0	0	0	0	0
Costo Operacion Actual		Aplica para proyectos de reemplazo de activos						
Perdida Producción			129	129	129	129	129	645
Cto. op. Reducción Presión			10	10	10	10	10	49
Cto. Op. Compra Compresores			59	59	59	59	59	293
Multas								0
Total Costo Actual		0	197	197	197	197	197	987
Costos Nuevo Proyecto		Detalle de gastos relacionados con el nuevo proyecto						
Sueldos y Salarios			0	0	0	0	0	0
Prestaciones Laborales	44%		0	0	0	0	0	0
Depreciaciones	20%		28	28	28	28	28	142
Costo del camion de rechazo								0
Mantenimiento			30	30	30	30	30	150
								0
								0
								0
Costos Operacionales		0	58	58	58	58	58	292
Intereses								0
Ganancia antes de Impuestos			0	139	139	139	139	695
Impuesto sobre la Renta	31%	0	43	43	43	43	43	215
Ganancia Neta			0	96	96	96	96	479
EBITDA			0	158	158	158	158	788

Tabla 1.3. Cálculo de datos financieros

**ANÁLISIS DEL FLUJO DE FONDOS
Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)**

	0	1	2	3	4	5	Total
Inversion requerida	142	0	0	0	0	0	142
Ingresos/Ahorros	Incluir el valor de rescate del equipo viejo						
Mgn. Bruto Incremental		0	0	0	0	0	0
Costos de operacion Actual		197	197	197	197	197	987
Valor de rescate							0
							0
Total Ingresos/Ahorros	0	197	197	197	197	197	987
Costos Nuevo Proyecto	(Excluye depreciaciones)						
Total de costos		30	30	30	30	30	150
Total costos		30	30	30	30	30	150
Impuestos	(Incluye calculo de escudo fiscal cuando no hay utilidades)						
Impuesto sobre la Renta		43	43	43	43	43	215
Escudo Fiscal		0	0	0	0	0	0
Total Impuestos	0	43	43	43	43	43	215
Costo Financiero							
Intereses a pagar		0	0	0	0	0	0
Total Intereses	0	0	0	0	0	0	0
Dividendos							
Pago de Dividendos		0	0	0	0	0	0
Total dividendos	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Fondo anual	-142	124	124	124	124	124	479
Flujo de Fondos Acumulado	-142	-18	106	230	354	478	
Payback		0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6

Valor Actual Neto (VAN)	8%	\$328,0
Valor Actual Neto (VAN)	10%	\$299,2
Valor Actual Neto (VAN)	12%	\$273,2
Valor Actual Neto (VAN)	14%	\$249,7
Valor Actual Neto (VAN)	16%	\$228,4
Valor Actual Neto (VAN)	18%	\$209,0
Valor Actual Neto (VAN)	20%	\$191,4

Tasa Interna de retorno 83,3%

Payback 1,57

1.1.5. ALCANCE DEL TRABAJO

La fábrica para el desarrollo de sus procesos productivos cuenta con diferentes áreas de servicio las cuales se encargan de suministrar la energía necesaria para que cada línea de producción elabore sus productos.

Dentro de las áreas de servicios podemos encontrar la energía eléctrica, el aire comprimido, el vapor y el agua.

El presente estudio se desarrollará dentro de lo que es el área de servicios de aire comprimido y específicamente evaluando las condiciones de operación tanto de los sistemas de generación de aire comprimido, el cual incluye el compresor principal, el secador de aire, los compresores auxiliares, los secadores auxiliares, como de la red de distribución para el suministro de aire hacia todos los equipos que utilizan sistemas neumáticos.

Se utilizará la técnica de recopilación de datos para poder determinar la cantidad de equipos que generan aire comprimido y las características que para cada uno ha definido el fabricante, así como también para realizar un inventario de la maquinaria que utiliza el aire comprimido para su operación y los requerimientos de consumo y presión para cada una.

También se realizará un diagnóstico energético, el cual nos indicará las condiciones actuales a las que se encuentra trabajando el sistema tanto en la parte del suministro como en la demanda, y su comportamiento durante un período estipulado. Los parámetros de observación son presión de operación, entrega de aire de los compresores, demanda de aire del sistema de distribución, energía eléctrica utilizada, etc.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

El aire del ambiente es, por así decirlo, la materia prima en los sistemas de aire comprimido. Está compuesto básicamente de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0.9%) y trazas (0.1%) de bióxido de carbono, neón, helio y kriptón; físicamente es inodoro, incoloro y no tiene sabor.

El aire comprimido no es otra cosa que el mismo aire del ambiente atrapado en un mecanismo donde se incrementa su presión -por la reducción del volumen- a través de un proceso mecánico. La máquina que realiza este trabajo es conocida como compresor, del cual existen básicamente dos tipos: los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos.

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. Del lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

Cada uno de los elementos mencionados, tanto del suministro como de la demanda, tienen una aplicación específica para el mejor desempeño del sistema y, en cada caso, se deberá cuidar su funcionamiento a través de un adecuado mantenimiento.

2.2. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA MAQUINARIA

Las necesidades del aire comprimido están definidas por tres factores determinantes: 1) la calidad, 2) la cantidad y 3) el nivel de presión requerido por los usuarios finales en una planta. Si determinamos cuidadosamente estas necesidades, estaremos asegurando que la configuración de nuestro sistema de aire comprimido será la más apropiada. A continuación se presentan algunas ideas que le ayudarán a determinar las características del aire que necesita:

La calidad del aire está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite) que permita la aplicación final del mismo. En general, se utilizan 4 niveles de calidad en función de su aplicación. En la industria se utiliza alguno de los tres primeros, como enseguida se describe:

- Aire de planta. Aire que puede estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.
- Aire para instrumentos. Aire con cantidades de humedad y suciedad moderadas, por lo que es usado en laboratorios, sistemas de aplicación de pintura por rocío o pintura en polvo, controles de climas, etc.
- Aire de proceso. Aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.
- Aire para respiración. Aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, etc.

Como podemos ver, la calidad del aire comprimido va desde el aire de planta hasta el de alta calidad, como el requerido en respiradores artificiales. Estas calidades se pueden obtener a través de equipos de secado para controlar el nivel de humedad, y por filtración, para el caso de partículas de polvo y aceite.

Es importante subrayar que a mayor calidad del aire, mayor será el costo para producirlo, porque una alta calidad de aire usualmente implica equipo adicional, el cual no únicamente incrementa la inversión del capital inicial, sino que también hace que el sistema global sea más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

Como se ha mencionado, uno de los principales factores cuando se determina la calidad del aire comprimido, es si éste puede o no estar libre de aceite. El aire comprimido libre de aceite puede ser producido con alguno de los compresores denominados libres de aceite, o con compresores que utilizan lubricación por inyección pero que tienen equipo adicional de separación y filtración de aceite.

Los compresores rotativos tipo tornillo y los reciprocantes libres de aceite usualmente tienen un alto costo, inicial y de mantenimiento, en comparación a los lubricados por inyección, sin embargo, el equipo adicional de separación y filtración que éstos últimos requieren, puede causar una reducción en su eficiencia, especialmente en sistemas a los que no se les da un buen mantenimiento.

Antes de seleccionar un compresor libre de aceite o uno lubricado por inyección, se deberán de considerar cuidadosamente las necesidades del proceso y de los equipos, esto en cuanto al nivel de aceite permitido en el aire, incluyendo en estas consideraciones el riesgo y el costo asociado de terminar con un producto contaminado.

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada

proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de éstos.

Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En muchos casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema nos puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques, de tal suerte que podamos reducir la capacidad global del compresor que se vaya a adquirir.

El sobredimensionar los compresores de aire es extremadamente ineficiente, porque la mayoría de los sistemas, operando a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuenciador de arranque, permitiendo así una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, sigue experimentado problemas de capacidad, una alternativa, antes de añadir otro compresor, es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o, tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados.

Otra forma efectiva de diseñar y operar apropiadamente un sistema de aire comprimido es evaluar su perfil de carga. Las variaciones de demanda durante el tiempo total de uso del aire comprimido es una de las principales consideraciones cuando se diseña un sistema de esta índole.

Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciadores de arranque, pueden operar el sistema de forma más económica. En cambio, en plantas con un perfil de carga con pocas o nulas variaciones, se pueden utilizar estrategias de control simples.

Por otro lado, los usos inapropiados dan lugar a una demanda artificial ya que requieren de un exceso en el volumen de aire y, por consecuencia, una mayor presión que el requerido por las propias aplicaciones. El uso de controladores de flujo puede ayudar a minimizar esta demanda artificial.

El nivel de presión del sistema debe ser definido a través de los requerimientos de presión de cada una de las herramientas que normalmente han sido probadas por sus fabricantes a dichas presiones. En cambio, las presiones requeridas por los diferentes procesos deben ser especificadas por el ingeniero de proceso. Con ambos requerimientos se puede definir el nivel de presión del

sistema, no olvidando que a mayor nivel de presión el sistema será más costoso, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

Por otro lado, cuando se defina el nivel de presión del sistema, se deben de tomar en cuenta las pérdidas del sistema a través de las tuberías y accesorios de los equipos adicionales, como secadores, separadores, filtros, etc.

2.3. FUGAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Un problema típico industrial, del que pocos están exentos, son las fugas en el sistema de aire comprimido, con la consecuente caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son: un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan este servicio, lo que causa una menor productividad de los mismos; un aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión, lo cual disminuye la vida útil de éste y la de los demás componentes del sistema; un aumento en los requerimientos de mantenimiento, que incrementa los paros no programados y, por último, obligará a elevar innecesariamente la capacidad de nuestro sistema de compresión.

Dados los niveles de pérdidas en los que posiblemente se esté incurriendo y, por otro lado, los beneficios que se pueden obtener, a continuación se presenta una serie de recomendaciones, cuya aplicación nos darán muy buenos resultados:

El porcentaje de fugas, en términos de la capacidad del compresor, deberá ser menor al 10% si el sistema recibe un buen mantenimiento; de lo contrario, este porcentaje puede ser del orden de 20-30% de pérdidas de la capacidad del compresor.

La mayoría de los compresores modernos están dotados de medidores de tiempo que llevan un registro de los períodos de 'carga' y 'no carga', por lo que un incremento en el período de carga para el mismo nivel de producción, nos indica que los niveles de fugas han aumentado. Si su compresor no está equipado con un medidor, esto se puede contabilizar de manera práctica con un simple cronómetro.

Si se conoce el caudal (VC) del compresor y el porcentaje de fugas, se puede obtener el flujo de éstas (VL) con la siguiente relación: $VL = (VC \times \%Fugas)/100$. Las unidades dependerán de las unidades de gasto en las que este el caudal, por ejemplo, m³/min., ft³/min., etc.

Debido a que la mayoría de las veces las fugas del aire comprimido son imperceptibles, inodoras y prácticamente imposibles de ver, se pueden emplear diferentes métodos para su localización; la mejor forma para detectarlas es mediante la utilización de un detector acústico ultrasónico, el cual puede reconocer la alta frecuencia de los ruidos y sonidos asociados con las fugas de aire.

Sin embargo, la compra o renta de ese tipo de detectores resulte muy caras, por lo que un método simple y económico consiste en utilizar espuma de jabón, la cual se aplica con una brocha en las áreas a inspeccionar.

Las fugas pueden estar localizadas casi en cualquier parte del sistema; sin embargo, comúnmente se localizan en: acoplamientos, mangueras, tubos, reguladores de presión, trampas abiertas de condensados, válvulas fuera de operación, sellos de las tuberías, desconexiones y juntas en mal estado, por mencionar algunas.

La tubería de distribución ubicada en el exterior está más propensa a la corrosión, debido a la humedad del ambiente y del aire comprimido; si bien es cierto que el equipo de secado ayuda, siempre considere la opción de utilizar tubería de plástico en esas áreas.

En muchos casos, las fugas pueden ser producto de una mala o inadecuada aplicación del sellador, revise esta situación.

Eliminar una fuga puede ser tan sencillo como apretar bien una conexión o tan complejo como reparar el accesorio con falla; pero, en general, el gasto para eliminarla siempre será más económico que el costo de no hacerlo.

Para limitar las fugas de aire comprimido en las horas de producción, instale válvulas de aislamiento en todos los ramales las cuales, además, nos ayudarán a aislar equipos que no serán utilizados por largo tiempo. Se recomienda utilizar válvulas del tipo bola, ya que son fáciles de abrir y cerrar.

Cuando requiera agregar equipos que utilicen aire comprimido, haga la menor cantidad de uniones posibles.

En ocasiones, para eliminar algunas fugas es necesario esperar hasta que se lleve a cabo un paro programado de la planta; mientras tanto, puede localizar o marcar las fugas con una señal de alerta y eliminarlas cuando el paro se presente.

Una manera de minimizar el problema de fugas de aire es reducir la presión del sistema, ya que entre más bajo sea el diferencial de presión a través del orificio de la fuga, más baja será la cantidad de flujo de aire perdido.

Un buen programa preventivo de fugas debe incluir los siguientes componentes: identificación (incluyendo marcado), ajuste, reparación, verificación e involucramiento de todos los empleados.

Todos los usuarios involucrados con el sistema de aire comprimido deben cumplir este programa preventivo de fugas. Al efecto, se sugiere formar equipos

en los que participen personas que puedan tomar decisiones y, por supuesto, la gente de producción.

La prevención de fugas debe ser parte de un programa global, en el que se pruebe el desempeño de los sistemas de aire comprimido. Una vez que se detectan y reparan las fugas, el sistema debe de ser nuevamente evaluado.

Dentro del programa de prevención de fugas, establezca un calendario de reemplazo a intervalos regulares -se recomienda cada 3 ó 4 meses- de juntas flexibles, mangueras de hule, uniones, empaques, etc. Por otro lado, cuidando no quitarle flexibilidad al sistema, cambie las uniones roscadas por uniones soldadas.

Instale válvulas solenoides individuales en cada punto de uso; éstas cortan el suministro del aire comprimido cuando el equipo neumático no tiene actividad, de esta forma se minimizan considerablemente las pérdidas por fugas y las caídas de presión del sistema.

2.4. CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA DE AIRE

La "caída de presión" es un término utilizado para caracterizar la reducción en la presión del aire desde la descarga del compresor hasta el punto final de uso. La caída de presión ocurre cuando el aire comprimido viaja, primero, a través del equipo de acondicionamiento (secadores, filtros, etc.) y, segundo, cuando lo hace a través de todo el sistema de distribución. Implementando algunas acciones correctivas, se pueden lograr importantes reducciones en el consumo energético; por esto, a continuación se presentan algunas ideas para minimizar las caídas de presión en su sistema.

En términos de eficiencia energética, el arreglo geométrico más versátil y eficiente para un sistema de distribución, es una línea de distribución principal (cabezal) en forma de anillo (loop), cuyos usuarios están distribuidos alrededor de éste.

La caída de presión no debe ser mayor del 10% entre la planta de compresión y el punto más alejado de consumo, por lo que se recomienda mantenerla entre 5 y 15 psi como máximo.

Caídas de presión mayores a los valores señalados darán como resultado un desempeño pobre del sistema y, por lo tanto, un consumo excesivo de energía ya que por cada 2 psi de caída de presión se tendrá un aumento aproximado de un 1% en el costo equivalente de la potencia consumida por el compresor.

Por lo anterior, antes de incrementar la presión de operación en los puntos de uso, trate primero de reducir la caída de presión del sistema, porque al

incrementarla, además de aumentar el consumo de energía, acentuará precisamente los problemas de caídas de presión y de fugas dentro del sistema.

2.5. CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL SISTEMA DE AIRE

Muchas plantas de aire comprimido operan, por ejemplo, en carga total a una presión de descarga de 100 psi y en vacío a una igual o mayor 116 psi. Por otro lado, es típico encontrar que la mayoría de los equipos y de las herramientas operan eficientemente con un suministro de aire de 85 psi o menos. Esto nos lleva a pensar que podemos, en algunos casos, reducir la presión de descarga de nuestro sistema de compresión, o bien, reducir solamente la presión del sistema de distribución o, en el mejor de los casos, reducir ambas presiones. El porqué, el cómo hacerlo y las precauciones que se deben tomar, se explican a continuación.

Antes de realizar cualquier cambio a su sistema, revise si la presión de descarga de su compresor fue determinada considerando las caídas de presión a través de filtros, tuberías, reguladores, mangueras, etc., de tal suerte que se asegure la presión requerida en los equipos de uso final.

Si una aplicación en particular requiere una presión alta, en lugar de aumentar la presión de operación de todo el sistema, utilice un regulador de elevación (booster), que le puede dar el doble de presión pero, si por el contrario, requiere aire comprimido de más baja presión que el resto del sistema, se puede ahorrar energía utilizando reguladores de aire que suministren esa baja presión y bajo flujo.

El reducir y controlar la presión del sistema de distribución, esto es, desde el tanque de recepción primario hasta los puntos de utilización nos puede resultar en una reducción en el consumo de energía del 10% o más, aún cuando la presión de descarga del compresor no haya sido cambiada.

Además, mejora el desempeño global del sistema, ya que se reducen los niveles de fugas y se minimizan los problemas de caídas de presión, aumentando con ello la capacidad del sistema. Por otro lado, se reducen los esfuerzos en los componentes y en los equipos en operación; por ello, si su sistema requiere cantidades significativas de aire comprimido, especifique los equipos que operen con bajos niveles de presión.

Sin embargo, recuerde que una reducción en la presión podría requerir modificar o cambiar algunos componentes de acuerdo a las nuevas presiones, tales como controladores, filtros, etc. Es importante hacer estos cambios para evitar que cualquier variación en la demanda cause una disminución en los puntos de uso y que los equipos no operen de forma adecuada; el hacer esto tendrá un costo, pero normalmente éste se recupera rápidamente.

Revise que se haya especificado la presión real que utilizarán sus equipos; a menudo se comete el error de especificar la presión promedio del sistema, lo que trae como resultado un alto costo en la operación del mismo, dado que los equipos trabajarán entre la presión de descarga y su presión de trabajo; además, habrá fugas y el sistema se irá ensuciando, por lo que sus equipos trabajarán, a una presión menor de la que requieren.

Recuerde que a mayor presión mayor será el consumo de energía; por ello, asegúrese de que el diseño de su sistema de aire comprimido no haya considerado únicamente los requerimientos de presión máxima, sobre todo cuando unos cuantos usuarios serán los que la utilicen a estos niveles.

Ciertamente reducir la presión del sistema nos da ahorros significativos pero, antes de hacerlo, revise el desempeño del compresor a diferentes presiones de descarga. Si realmente no existe problema con el compresor, cuando reduzca la presión no olvide ajustar el control del mismo para la nueva demanda y, de ser posible, poder apagarlo o ponerlo en modo 'sin-carga' para obtener mayor reducción en el consumo de energía.

Cuando calcule el consumo promedio de aire comprimido de la planta, estime el total que requiere a baja presión (35 a 50 psi) y el total en alta presión (arriba de 50 psi) y si cualquiera de éstos constituyen de un 20% a un 30% más que otro, entonces le conviene tener un sistema de baja presión (LP) y uno de alta presión (HP).

Se reducen proporcionalmente los niveles de fugas, puesto que el nivel de fugas es alto en un sistema que trabaja a alta presión solamente; por otro lado, se reducen los costos de operación global, además, de que el desgaste o deterioro del compresor es menor a baja presión.

Aumenta la vida útil de instrumentos, válvulas, etc., ya que la presión alta tiende frecuentemente a dañar las uniones, empaques, etc., y en algunos casos se reduce la inversión al no tener que comprar válvulas reductoras.

2.6. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE AIRE

Entre los beneficios de realizar un diagnóstico en los sistemas de aire comprimido, está, por un lado, el identificar los costos verdaderos de producirlo y utilizarlo; por otro lado, nos sirve para identificar oportunidades que nos pueden ayudar a obtener mayor eficiencia y productividad. Para la realización de dicho diagnóstico, es importante observar los siguientes puntos que le ayudarán a seleccionar y contratar los servicios de una empresa externa con la suficiente experiencia y capacidad técnica para la realización y ejecución de los mismos.

Como se mencionó, es muy recomendable contratar un consultor independiente para diagnosticar su sistema de aire comprimido, ya que, comercialmente hablando, sus recomendaciones serán neutrales e imparciales. Por lo anterior, informe a la empresa de su elección que no especifique ni recomiende marcas particulares y cuide que éstos no sean fabricantes de equipos relacionados con el aire comprimido.

El alcance del diagnóstico deberá ser acordado entre el usuario y el consultor, y puede incluir, tanto el estudio del suministro de aire y sus usos, como la interacción entre el suministro y la demanda.

Los consultores usualmente miden la salida del sistema de aire comprimido, calculan el consumo de energía en kWh y determinan el costo anual de operación del sistema; además, deben medir las pérdidas totales por fugas y localizar aquellas que son significativas.

Todos los componentes del sistema de aire comprimido deberán ser inspeccionados individualmente, identificando las áreas con problemas. Por otro lado, los problemas como pérdida por fugas, usos inapropiados, demandas excesivas, diseños pobres o mal uso del sistema y la dinámica del sistema total, deberán ser calculados y escritos en un reporte donde se deben incluir las recomendaciones sobre las acciones que hay que implementar.

Los trabajos que se realizan en un diagnóstico, no solamente están en función de examinar el desempeño de cada uno de los componentes individuales, sino que, además, analizan de qué modo estos componentes interactúan tanto del lado del suministro como del lado de la demanda.

El consultor, por lo general, examina las aplicaciones del aire comprimido y determina el nivel apropiado del tratamiento que debe tener éste según los requerimientos para la operación propia de los equipos. Si el aire no tiene el tratamiento adecuado, el consultor debe recomendar alternativas para conseguirlo pero si el aire está sobre tratado, lo cual indica una pérdida de energía, se hacen las recomendaciones necesarias para modificar el sistema. En algunos casos, ciertos equipos requieren de un alto tratamiento del aire, por lo que el consultor debe recomendar un sistema que permita diferentes niveles de tratamiento en diferentes puntos del sistema.

El consultor debe identificar y cuantificar las fugas en el sistema y recomendar un programa para el manejo de éstas. Por otro lado, debe determinar el menor nivel de presión posible requerido para operar los equipos de producción de forma efectiva. En muchos casos, la presión del sistema puede ser disminuida con el consecuente ahorro energético, ya que la mayoría de los sistemas tienen una o más aplicaciones críticas que pueden ser satisfechas con tanques pulmón.

El control existente en el sistema debe ser evaluado para determinar si es el más apropiado para el perfil de demanda del sistema. Se debe estimar si se puede mejorar el desempeño del sistema a través de operarlo con una estrategia de control diferente.

De ser posible, el consultor deberá de identificar aplicaciones potenciales para el uso del calor recuperado, si es que aún no es aprovechado.

Se debe de examinar el arreglo global de las tuberías del sistema de distribución, medir o estimar la eficiencia y las caídas de presión, evaluar la efectividad con que se desalojan los condensados de las tuberías del sistema y, si es necesario, sugerir cambios simples que permitan elevar el desempeño del sistema.

Los consultores normalmente estiman el perfil de la carga del aire comprimido en términos de cómo la demanda cambia durante todo el período de utilización. Si se tiene un perfil de carga variable, posiblemente se puedan obtener beneficios a través de una estrategia de control avanzado. Si se tienen períodos cortos de demandas altas, se pueden obtener beneficios a través de la utilización de tanques pulmón.

Para que el consultor pueda establecer el perfil de carga, deberá medir el flujo del sistema y la presión a través del sistema bajo diferentes condiciones de demanda, e irá observando los efectos de la carga en los compresores existentes. Esto puede requerir un número pequeño de mediciones dentro de un período de 24 horas, pero si la demanda varía significativamente, deberá de hacer mediciones durante algunos días y durante todo el período de utilización.

Los equipos y procesos que utilizan aire comprimido también deben ser estudiados. En algunos casos, se harán recomendaciones tales como especificar que los equipos sean operados a presiones menores. Un consultor también puede recomendar el remplazo de equipo neumático por equipo que utilice otro tipo de servicio diferente al aire. Por otro lado, las aplicaciones con presiones críticas deben ser estudiadas en detalle para poder recomendar, en su caso, el uso de tanques pulmón y algunas otras modificaciones.

Los compresores se evalúan en términos de su adecuada aplicación y, en general, por sus condiciones y por su apariencia. Usualmente la eficiencia de los compresores es estimada basándose en los datos del fabricante y en las condiciones del lugar donde fue colocado. La instalación también es evaluada en términos de su localización, ventilación, conexiones, etc.

Los filtros son examinados por su grado de limpieza y por su compatibilidad con la aplicación. Se mide la caída de presión a través de ellos para estimar sus pérdidas y recomendar, de acuerdo a los resultados, un programa de

mantenimiento para su limpieza, o bien, la sustitución de éstos por filtros de mayor desempeño.

Se debe medir y evaluar la eficiencia de los postenfriadores y, en los separadores, evaluar la eficacia del enfriamiento y de la separación de los condensados para, en ambos casos, poder recomendar modificaciones factibles o sistemas alternativos.

Se debe valorar la conveniencia del sistema de secado, basándose en las aplicaciones finales de las instalaciones. Se miden y se evalúan el tamaño del secador y su caída de presión y, si es necesario, se recomiendan modificaciones o reemplazos.

Se evalúa la localización, la aplicación y la eficacia de los drenes, tanto de lado de la demanda como del lado del suministro y, si es necesario, se indican las recomendaciones necesarias.

Se debe de evaluar la eficacia de los tanques pulmón en términos de su localización y tamaño, revisando adicionalmente las trampas para el drenaje de condensados para ver si operan apropiadamente. También se debe de investigar las soluciones realizadas de colocar tanques pulmón para controlar situaciones de demandas altas de corto tiempo.

3. TRABAJO PROPUESTO

3.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

3.1.1. Descripción actual del equipo de suministro de aire

Actualmente el sistema de producción de aire comprimido está compuesto por el compresor principal, el secador y los compresores auxiliares, todos los equipos de marca Ingersoll Rand, los cuales detallo a continuación.

3.1.1.1. El compresor principal

La fábrica cuenta con un compresor marca Ingersoll Rand, modelo SSR-CP150, con una capacidad de 670 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 150 HP, 220/460 voltios, 417/209 amperios, trifásico y de 60 Hz. , que transmite su potencia a un compresor de tornillo rotativo de una etapa. Está compuesto de los siguientes componentes: filtro de entrada de aire, válvula de entrada de aire gobernada por un stepper-motor, rotores (los cuales son componentes de compresor), separador de aire y aceite, válvula de cheque, post-enfriador, filtro separador de mezcla aire-agua y trampa drenadora.

El aire entra al compresor, pasando a través del filtro y la válvula de entrada de aire. La compresión se lleva a cabo en el compresor de tornillo rotativo, conformado por dos rotores helicoidales (macho y hembra) montados sobre ejes paralelos y encerrados en una carcasa de hierro, con una entrada y salida de aire localizada en sentidos opuestos. La mezcla de aire y aceite de enfriamiento es descargada del compresor mediante una válvula de cheque en el sistema de separación. Este sistema está contenido en un tanque receptor en donde se remueven las ppm del aceite de enfriamiento. Dicho aceite se regresa al compresor y el aire pasa al post-enfriador. El post-enfriador está compuesto por un intercambiador de calor, un separador de condensado y una trampa drenadora. Debido al enfriamiento del aire, el vapor de agua contenido en el aire se condensa, el cual es eliminado del sistema por medio de una trampa drenadora.

Todas las funciones del compresor son controladas y monitoreadas por un Intellisys, el cual es un controlador basado en un microprocesador que utiliza un panel con membranas sensibles para controlar. Todos los ajustes y la información en pantalla son fácilmente accesibles a través de este panel.

El compresor se encuentra ubicado en un lugar de almacenamiento de material de empaque; el cual posee una buena iluminación y ventilación, pero el ambiente eventualmente se encuentra polvoriento.

3.1.1.2. El secador de aire

Además del compresor, la fábrica tiene un secador de marca Ingersoll Rand, modelo HG750E4, que trabaja a una presión de 125 psi. , su máxima presión de trabajo es 250 psi., y la máxima temperatura del aire en la entrada 130 °F. Este secador es del tipo refrigerado, no-cíclico. Utiliza un intercambiador de calor aire-aire, que sirve como pre-enfriador y recalentador, del tipo de concha y tubo, con el aire entrante del lado de la concha y el aire saliente por los tubos el cual condensa hasta un 65% de la humedad en el aire, reduciendo así la cantidad de refrigeración y potencia requeridas para secar el aire hasta el punto de rocío requerido.

Para enfriar el aire hasta el punto de rocío deseado se utiliza un intercambiador de calor de diseño patentado de gran área de contacto, el cual es un evaporador para el sistema de refrigeración. La remoción de la humedad condensada se logra a través de un separador de humedad y es eliminado por medio de un sistema automático de drenaje de condensado del tipo eléctrico. Los intercambiadores de calor, el separador y la tubería de conexión están completamente aisladas para prevenir las pérdidas por transferencia de calor con los alrededores y evitar la condensación en el exterior de estas superficies.

El sistema de refrigeración con que cuenta este secador utiliza los componentes básicos para dicho sistema, como lo son: la unidad de refrigeración que usa un compresor de refrigeración del tipo hermético, protección por sobrecarga del motor, condensador enfriado por aire, controles y arrancador. El evaporador de diseño de concha y tubo, con el aire pasando por la concha y el refrigerante por los tubos. El filtro secador, que se encarga de filtrar y secar el refrigerante para proteger todo el sistema de refrigeración. El tanque refrigerante retiene el refrigerante líquido hasta que sea requerido por el evaporador y la válvula de expansión la cual se encarga de controlar la cantidad de refrigerante que llega al evaporador.

El secador, se encuentra junto al compresor, en un lugar que posee buena iluminación y ventilación, pero el ambiente eventualmente se encuentra polvoriento.

3.1.1.3. Compresor auxiliar No.1

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, al departamento de calderas y a las plantas de jabones, se encuentra ubicado en el área de calderas, es del tipo reciprocante, de doble etapa, marca Ingersoll Rand, modelo 15T, con una capacidad de 57 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 15 HP, 220/440 voltios, 38.6/19.3 amperios, trifásico y de 60 Hz., gira a 1750 rpm y transmite su potencia al compresor por medio de fajas y poleas con una relación de velocidad de 2 a 1. Está compuesto de los siguientes componentes: filtros de entrada de aire, pistones (los cuales son componentes de compresor), inter-enfriador, válvula de seguridad, control de nivel de aceite, válvula de cheque y un depósito para aire comprimido con capacidad de 120 galones.

3.1.1.4. Compresor auxiliar No.2

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, a la planta de fabricación de ácido sulfónico, se encuentra ubicado en el área de los tanques de alimentación de dicha planta, es del tipo reciprocante, de doble etapa, marca Ingersoll Rand, modelo 15TE, con una capacidad de 85 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 25 HP, 230/460 voltios, 63/31.5 amperios, trifásico y de 60 Hz., gira a 1760 rpm y transmite su potencia al compresor por medio de fajas y poleas con una relación de velocidad de 2 a 1. Está compuesto de los siguientes componentes: filtros de entrada de aire, pistones (los cuales son componentes de compresor), inter-enfriador, válvula de seguridad, control de nivel de aceite, válvula de cheque y un depósito para aire comprimido con capacidad de 120 galones.

3.1.1.5. Compresor auxiliar No.3

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, a la planta de fabricación de detergente, se encuentra ubicado en el área de la bodega de producto terminado de dicha planta, es del tipo reciprocante, de doble etapa, marca Ingersoll Rand, modelo 20T2, con una capacidad de 85 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 25 HP, 230/460 voltios, 63/31.5 amperios, trifásico y de 60 Hz., gira a 1750 rpm y transmite su potencia al compresor por medio de fajas y poleas con una relación de velocidad de 2 a 1. Está compuesto de los siguientes componentes: filtros de entrada de aire, pistones (los cuales son componentes de compresor), inter-enfriador, válvula de seguridad, control de nivel de aceite, válvula de cheque y un depósito para aire comprimido con capacidad de 120 galones.

3.1.1.6. Compresor auxiliar No.4

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, a la planta de fabricación de detergente, se encuentra ubicado en el área de la bodega de producto terminado de dicha planta, es del tipo de tornillo rotativo, de una etapa, marca Ingersoll Rand, modelo U25H-SP, con una capacidad de 100 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 25 HP, 230/460 voltios, 68/34 amperios, trifásico y de 60 Hz., que transmite su potencia al compresor por medio de fajas y poleas con una relación de velocidad de 2 a 1. Está compuesto de los siguientes componentes: filtro de entrada de aire, rotores (los cuales son componentes de compresor), separador de aire y aceite, válvula de cheque, post-enfriador, filtro separador de mezcla aire-agua y trampa drenadora.

3.1.1.7. Compresor auxiliar No.5

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, a la red principal, se encuentra ubicado en el área de la planta de sulfonación, es del tipo de tornillo rotativo, de una etapa, marca Ingersoll Rand, modelo SSR-EP50SE, con una capacidad de 215 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 50 HP, 230/460 voltios, 136/68 amperios, trifásico y de 60 Hz., que transmite su potencia a un compresor de tornillo rotativo de una etapa. Está compuesto de los siguientes componentes: filtro de entrada de aire, válvula de entrada de aire, rotores (los cuales son componentes de compresor), separador de aire y aceite, válvula de cheque, post-enfriador, filtro separador de mezcla aire-agua y trampa drenadora.

3.1.1.8. Secador del compresor auxiliar No.5

El compresor auxiliar No.5 cuenta con un secador diseñado de acuerdo al caudal que se maneja. También de marca Ingersoll Rand, modelo TS250, que trabaja a una presión de 125 psi. , su máxima presión de trabajo es 250 psi., y la máxima temperatura del aire en la entrada 130 °F. Este secador es del tipo refrigerado, no-cíclico. Utiliza un intercambiador de calor aire-aire, que sirve como pre-enfriador y recalentador, del tipo de concha y tubo, con el aire entrante del lado de la concha y el aire saliente por los tubos el cual condensa hasta un 65% de la humedad en el aire, reduciendo así la cantidad de refrigeración y potencia requeridas para secar el aire hasta el punto de rocío requerido.

3.1.1.9. Compresor auxiliar No.6

Este compresor se encarga de suministrar el aire necesario, en caso de emergencia, a la red principal, se encuentra ubicado en el área de la planta de sulfonación, es del tipo de tornillo rotativo, de una etapa, marca Ingersoll Rand, modelo SSR UP6-25-125, con una capacidad de 102 CFM, y una presión de trabajo de 125 psi. Trabaja por medio de un motor eléctrico de 25 HP, 230/460 voltios, 68/34 amperios, trifásico y de 60 Hz., que transmite su potencia a un compresor de tornillo rotativo de una etapa. Está compuesto de los siguientes componentes: filtro de entrada de aire, válvula de entrada de aire gobernada por un stepper-motor, rotores (los cuales son componentes de compresor), separador de aire y aceite, válvula de cheque, post-enfriador, filtro separador de mezcla aire-agua y trampa drenadora.

3.1.1.10. Secador del compresor auxiliar No.6

El compresor auxiliar No.6 cuenta con un secador diseñado de acuerdo al caudal que se maneja. También de marca Ingersoll Rand, modelo TS100, que trabaja a una presión de 125 psi. , su máxima presión de trabajo es 250 psi., y la máxima temperatura del aire en la entrada 130 °F. Este secador es del tipo refrigerado, no-cíclico. Utiliza un intercambiador de calor aire-aire, que sirve como pre-enfriador y recalentador, del tipo de concha y tubo, con el aire entrante del lado de la concha y el aire saliente por los tubos el cual condensa hasta un 65% de la humedad en el aire, reduciendo así la cantidad de refrigeración y potencia requeridas para secar el aire hasta el punto de rocío requerido.

3.1.2. Descripción actual del equipo de distribución de aire

El sistema de distribución de aire comprimido con que cuenta la fábrica está compuesto por dos líneas de distribución principal las cuales salen de un distribuidor de aproximadamente 100 galones de capacidad, y varias líneas secundarias, como ramales, tal y como se muestra en el diagrama 1. Sistema de aire comprimido actual.

Diagrama 1, Sistema de aire comprimido actual

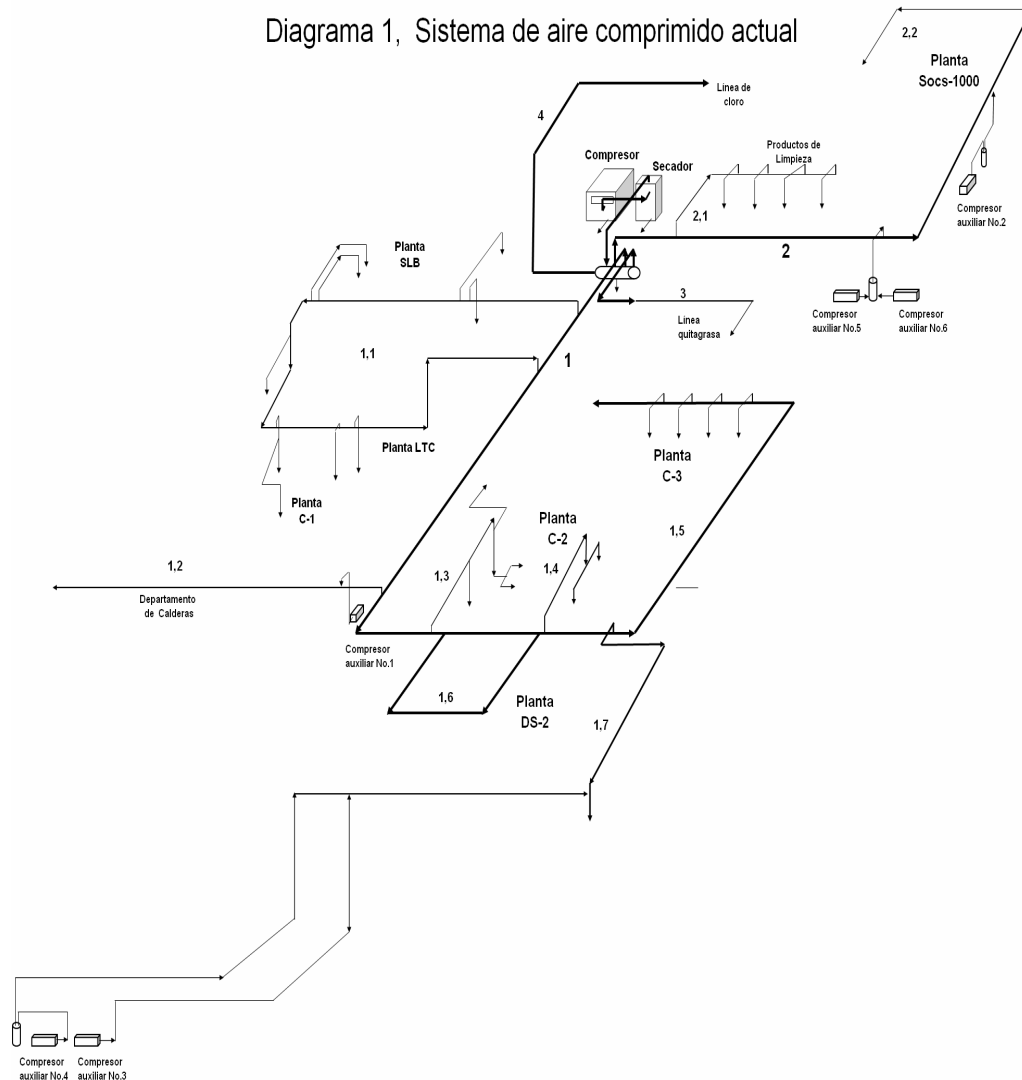


Fig. 3.1. Sistema de aire comprimido actual

La línea No.1 de distribución principal está compuesta por tubería y accesorios en acero al carbón de 4" NPT, cédula 40, del tipo soldable, trabaja como un sistema de distribución en circuito abierto y se encarga de la distribución del aire comprimido a las plantas SLB, C-1, LTC, departamento de Calderas, C-2, DS-2 y C-3, por medio de tuberías secundarias o ramales. Por otro lado la línea No.2 de distribución principal se encarga de suministrar aire comprimido a la planta SOCS y a Productos de Limpieza, por medio de tuberías secundarias o ramales. Esta tubería también conformada por tubería y accesorios en acero al carbón de 4" NPT, sufriendo reducciones a 2 1/2", 1 1/2" y 1" en su trayectoria, cédula 40, del tipo soldable, trabajando como un sistema de distribución en circuito abierto.

En lo que respecta a las líneas secundarias de distribución, se deben enumerar para poder tener una mejor visión de éstas. La línea secundaria No.1.1 se encuentra trabajando como un sistema en circuito cerrado, y se encarga de

enviar aire comprimido, por medio de las bajantes a la maquinaria de las plantas SLB, C-1 y LTC, el material de la tubería utilizada en dicha línea es de hierro galvanizado roscado de 1 ½" NPT, las bajantes utilizadas para la alimentación a cada máquina son de ½" NPT, las cuales llegan a las máquinas y se conectan a la unidad de mantenimiento correspondiente a cada una de ellas.

La línea secundaria No.1.2, se encarga de suministrar aire al departamento de Calderas, trabaja como un sistema en circuito abierto. El material de la tubería es hierro galvanizado roscado de 1 ½" NPT, con sus bajantes en ½" NPT.

Dentro de la planta C-2 se encuentran ubicados dos ramales, la línea secundaria No.1.3, la cual lleva el aire necesario para alimentar a las máquinas cortadoras y las válvulas de control, trabajando como un sistema en circuito abierto, utilizando tubería de hierro galvanizado roscado de ¾". La línea secundaria No.1.4 suministra el aire de alimentación para las envolvedoras de jabón, trabaja también como un sistema en circuito abierto, utiliza tubería de hierro galvanizado roscado de 1" NPT, la cual se conecta con la maquinaria antes descrita por medio de mangueras del tipo flexible de material tygon de ½".

Del mismo modo que en la planta C-2 se encuentra la línea secundaria No.1.5 que se encarga de alimentar a los equipos que pertenecen a la planta C-3, trabaja también como un sistema en circuito abierto, utiliza tubería de hierro galvanizado roscado de 4" NPT, la cual se conecta con la maquinaria antes descrita por medio de mangueras del tipo flexible de material tygon de ½".

La línea principal de aire comprimido actualmente finaliza en la planta DS-2, mediante dos ramales secundarios. El ramal secundario No.1.6 está compuesto por tubería y accesorios en acero al carbón de 4" NPT, cédula 40, del tipo soldable, trabaja como un sistema de distribución en circuito cerrado y se encarga de la distribución del aire comprimido a los equipos de las secciones de preparación de pasta y post-adición mediante bajantes en material de hierro galvanizado en diferentes medidas, las cuales varían desde ½" hasta 1"..

El ramal secundario No.1.7 , trabaja como un sistema en circuito abierto, llega a la planta por medio de una tubería de hierro galvanizado de 3" NPT, hasta un manifold de aproximadamente 70 galones, del cual salen cuatro derivaciones en tubería de hierro galvanizado de 1 ½", para la alimentación de la maquinaria que corresponde a la sección de generación del aire caliente para la torre de secado, el transporte neumático, así como también todas las máquinas del área de empaque.

3.2. METODOLOGÍA

Para poder desarrollar un buen estudio del sistema de aire comprimido nos hemos basado en tres metodologías:

1. Se utilizó la recopilación de datos, mediante elaboración de listados tanto en lo que respecta a equipos de generación y tratamiento del aire en la parte de suministro, como la maquinaria que utiliza sistemas neumáticos para su operación en la parte de la demanda, así como también la elaboración de diagramas del sistema de distribución de aire con sus distintos ramales.
2. Se llevó a cabo un diagnóstico energético basado en el sistema de análisis de la demanda de aire asistido por ordenador, ADA, desarrollado por Kaeser, el cual permite obtener datos del sistema de aire comprimido para optimizarlo. Con dichos datos, se obtiene el perfil de consumo de aire comprimido a partir del cual se puede calcular, con ayuda del Sistema de Ahorro Energético de *KAESER* (KESS), una solución óptima para cada caso particular.

Los equipos de medición que se utilizaron fueron los siguientes:

3 Loggers ADA

5 kilowatímetros trifásicos

2 transductor de presión

2 anemómetros con display

3 optocouplers para régimen de carga-vacío-apagado

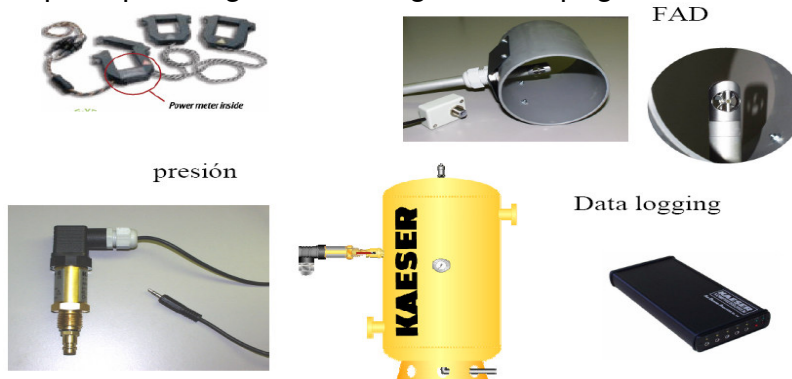


Fig. 3.2. Equipo de medición ADA

Fuente: www.kaeser.com

3. Con el objeto de tener un conocimiento más amplio de los problemas que se pueden presentar en un sistema de aire comprimido, se recurrió al uso de la técnica de análisis de falla, mediante la elaboración de un árbol de fallas, obteniendo con esto una ayuda para poder determinar las probables causas que estén afectando y plantear las soluciones para éstas.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

En lo que respecta a la recopilación de datos se presentan a continuación dos tablas con las características de los equipos de generación y las líneas de distribución de aire comprimido.

**Tabla 3.1. Capacidad instalada para generación
CAPACIDAD ACTUAL INSTALADA PARA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**

Maquinaria	Ubicación	Marca	Modelo	Tipo	cfm
Compresor Principal	Bodega material empaque	Ingersoll Rand	SSR-CP150	Tornillo rotativo	670
Compresor auxiliar No.1	Departamento de calderas	Ingersoll Rand	15T	Reciprocante	57
Compresor auxiliar No.2	Planta Sulfonación	Ingersoll Rand	15TE	Reciprocante	85
Compresor auxiliar No.3	Planta Detergentes	Ingersoll Rand	20T2	Reciprocante	85
Compresor auxiliar No.4	Planta Detergentes	Ingersoll Rand	U25H-SP	Tornillo rotativo	100
Compresor auxiliar No.5	Planta Sulfonación	Ingersoll Rand	SSR-EP50SE	Tornillo rotativo	215
Compresor auxiliar No.6	Planta Sulfonación	Ingersoll Rand	SSR-UP6-25-125	Tornillo rotativo	102
Total					1314

Maquinaria	Ubicación	Marca	Modelo	Tipo
Secador del compresor Principal	Bodega material empaque	Ingersoll Rand	HG750E4	Coraza y tubo
Secador del compresor auxiliar No.5	Planta sulfonación	Ingersoll Rand	TS250	Coraza y tubo
Secador del compresor auxiliar No.6	Planta sulfonación	Ingersoll Rand	TS100	Coraza y tubo

**Tabla 3.2. Consumo por línea de distribución
LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL No.1		PRESIÓN	CONSUMO
PLANTA	LÍNEA SECUNDARIA	psi	cfm
SLB	Línea de distribución secundaria No.1.1	100	76
C-1	Línea de distribución secundaria No.1.1	100	21
LTC	Línea de distribución secundaria No.1.1	100	4
CALDERAS	Línea de distribución secundaria No.1.2	100	33
	Línea de distribución secundaria No.1.3	100	25
C-2	Línea de distribución secundaria No.1.4		
C-3	Línea de distribución secundaria No.1.5	100	13
DS-2	Línea de distribución secundaria No.1.6	100	716
	Línea de distribución secundaria No.1.7	115	
			888

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL No.2		PRESIÓN	CONSUMO
PLANTA	LÍNEA SECUNDARIA	psi	cfm
PL	Línea de distribución secundaria No.2.1	100	64
SOCS-1000	Línea de distribución secundaria No.2.2	100	130
			194

LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN		PRESIÓN	CONSUMO
PLANTA	LÍNEA SECUNDARIA	psi	cfm
QUITAGRASA	Línea de distribución No.3	100	160
COLORO	Línea de distribución No.4	100	144
			304

Total cfm 1386

3.3.2. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético del sistema de aire comprimido se llevo a cabo del 12 al 20 de febrero del 2007, por lo que los días completos de medición fueron 7 con un fin de semana completo. Hay que hacer notar que este período es el mínimo requerido con el fin de poder notar el comportamiento del sistema en el arranque de la planta, la operación y el paro de la misma.

Dentro de los datos que se pueden obtener mediante el sistema de análisis de la demanda de aire se encuentran:

1. Presión en la generación
2. Presión en la red de distribución
3. Perdida de presión en la red de distribución
4. Entrega de aire de los compresores
5. Demanda total de la planta
6. Consumo eléctrico de los compresores
7. Presiones y demanda del sistema
8. Demanda y consumo energético

De los cuales presento a continuación las gráficas correspondientes.

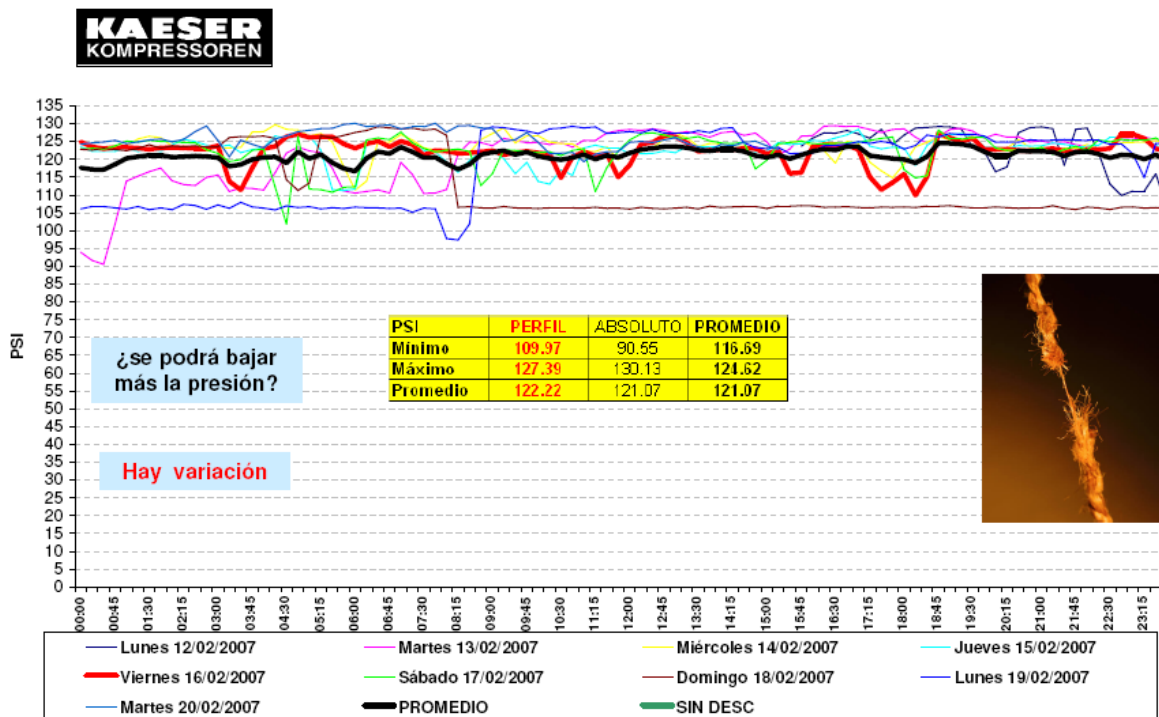


Fig.3.3. Gráfica de presión en la generación
 Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 17.

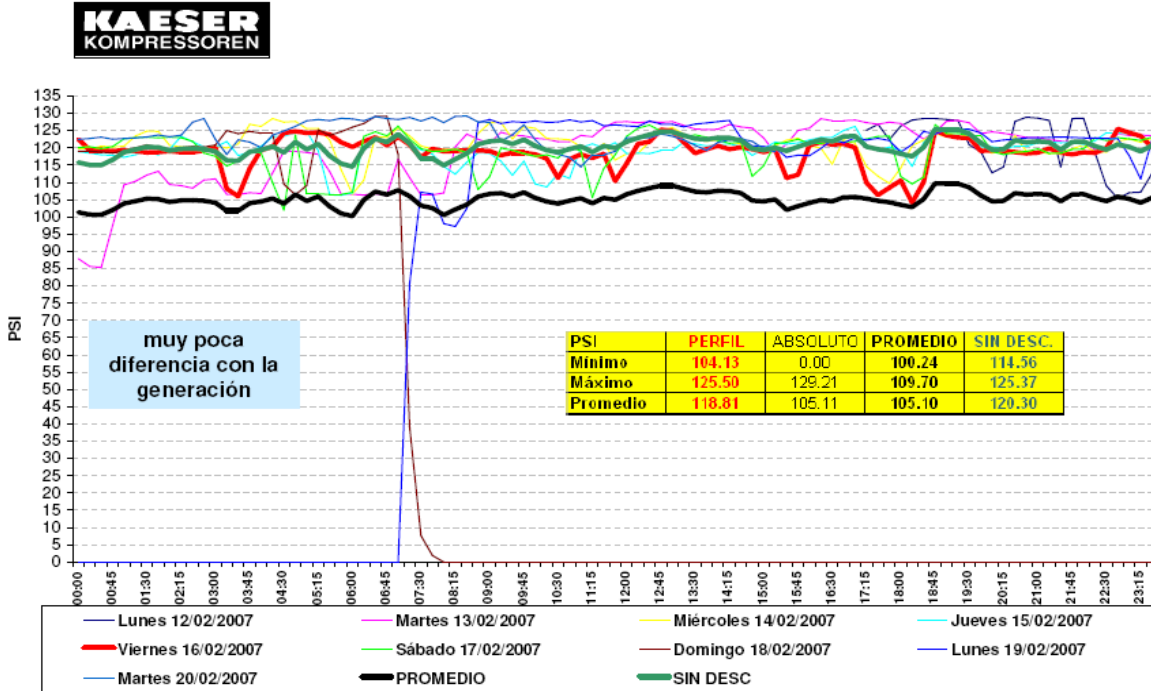


Fig.3.4. Gráfica de presión en la red
 Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 18.

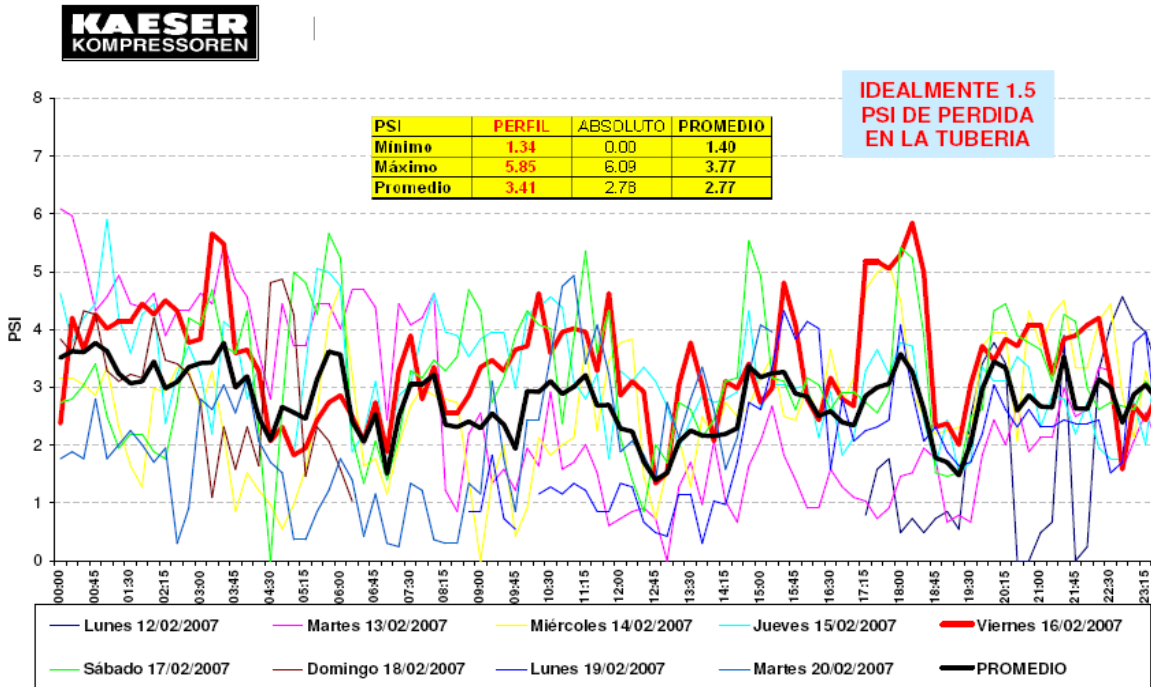


Fig.3.5. Gráfica de pérdida de presión en la red
 Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 19.

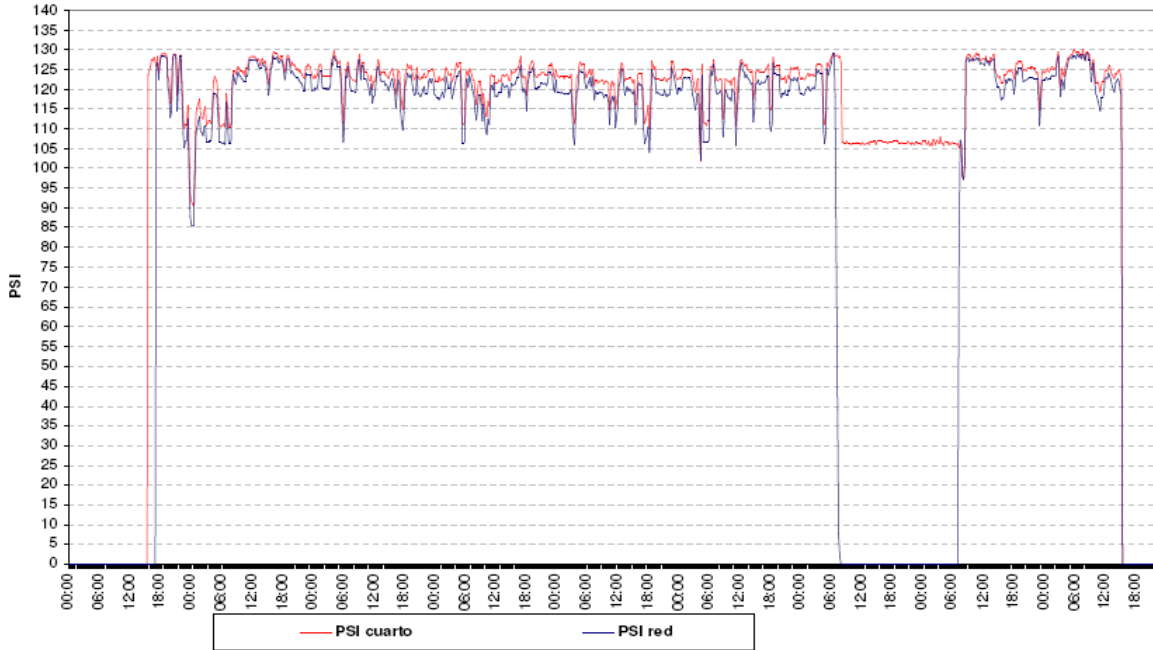


Fig.3.6. Gráfica de medición de presión durante el estudio
 Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 20.

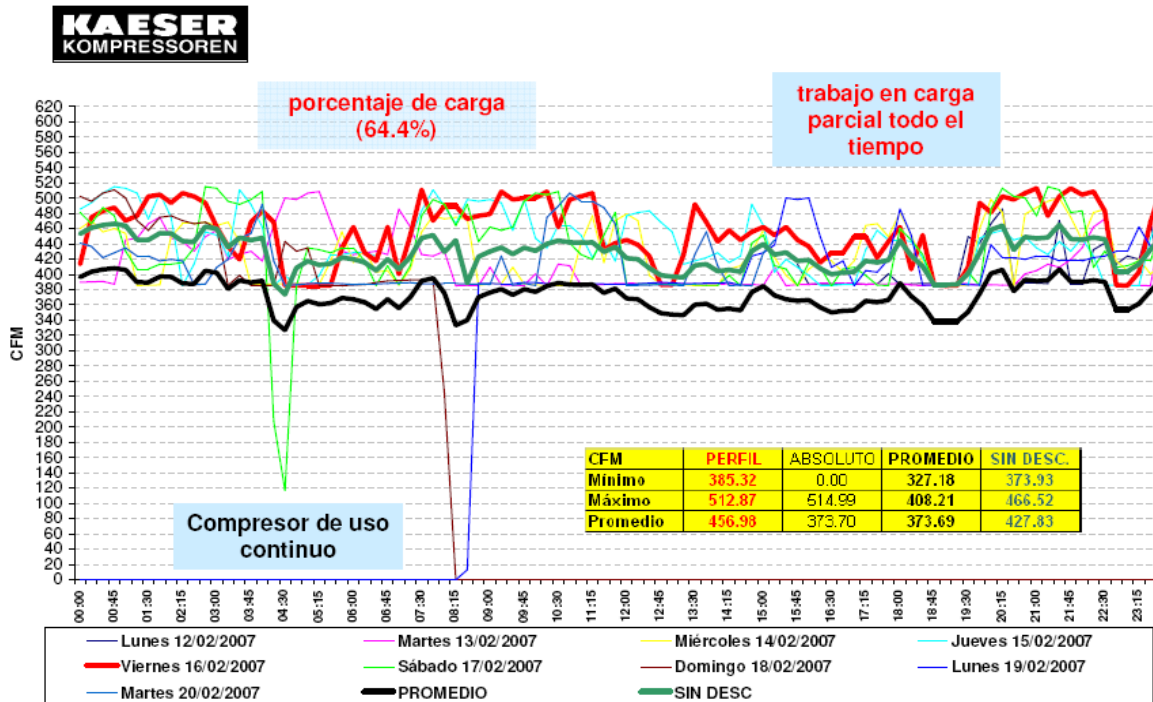


Fig.3.7. Gráfica de entrega del compresor de 150 HP
 Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 22.

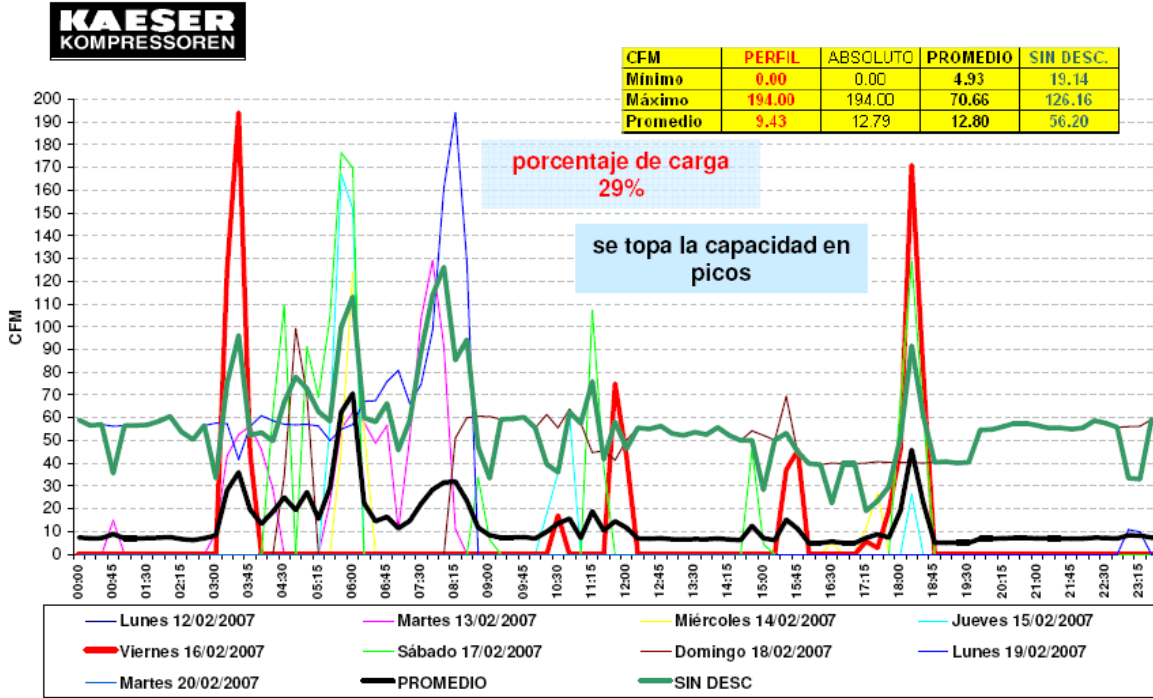


Fig.3.8. Gráfica de entrega del compresor de 50 HP
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 23.

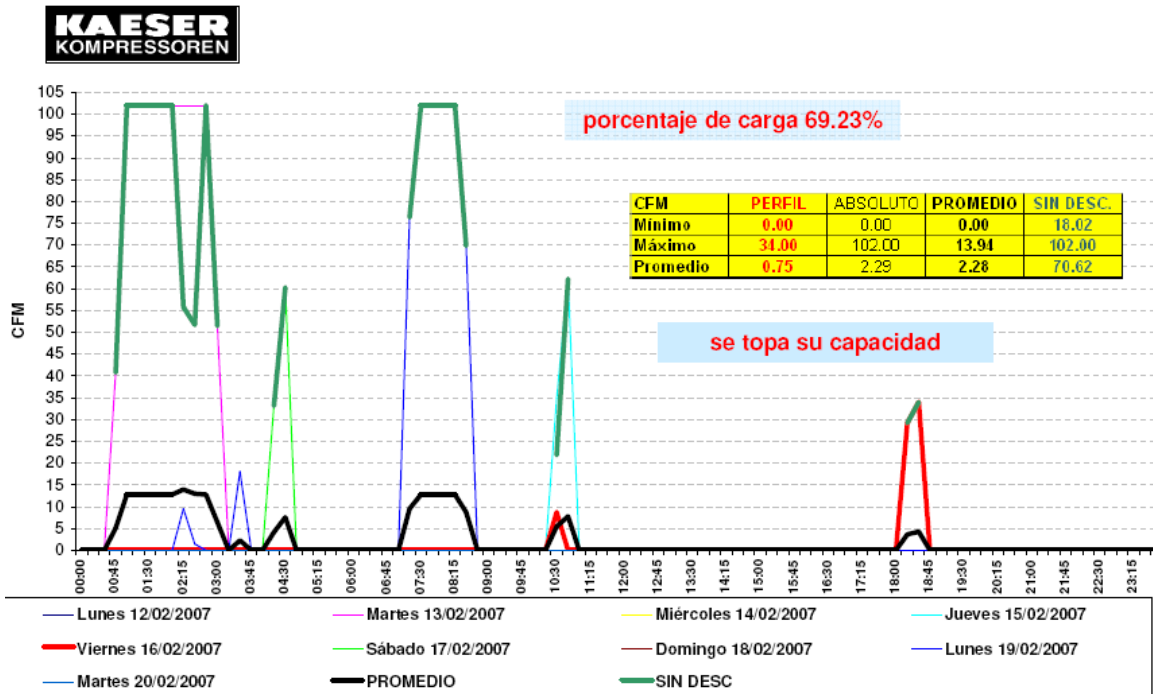


Fig.3.9. Gráfica de entrega del compresor de 25 HP
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 24.

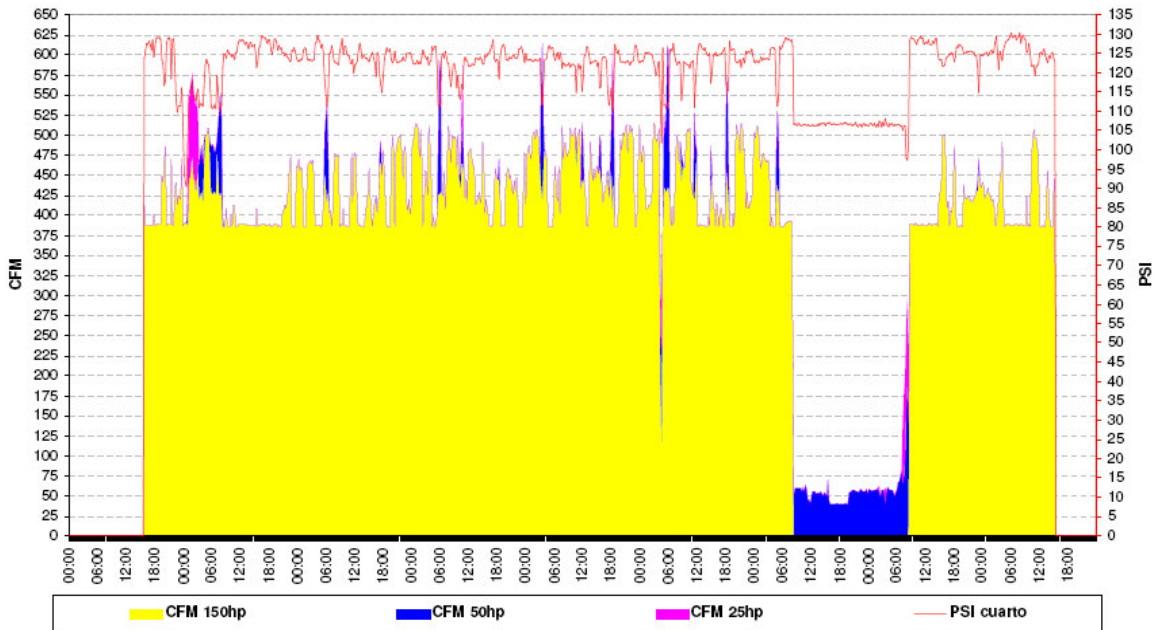


Fig.3.10. Gráfica de mediciones de todo el período
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 34.

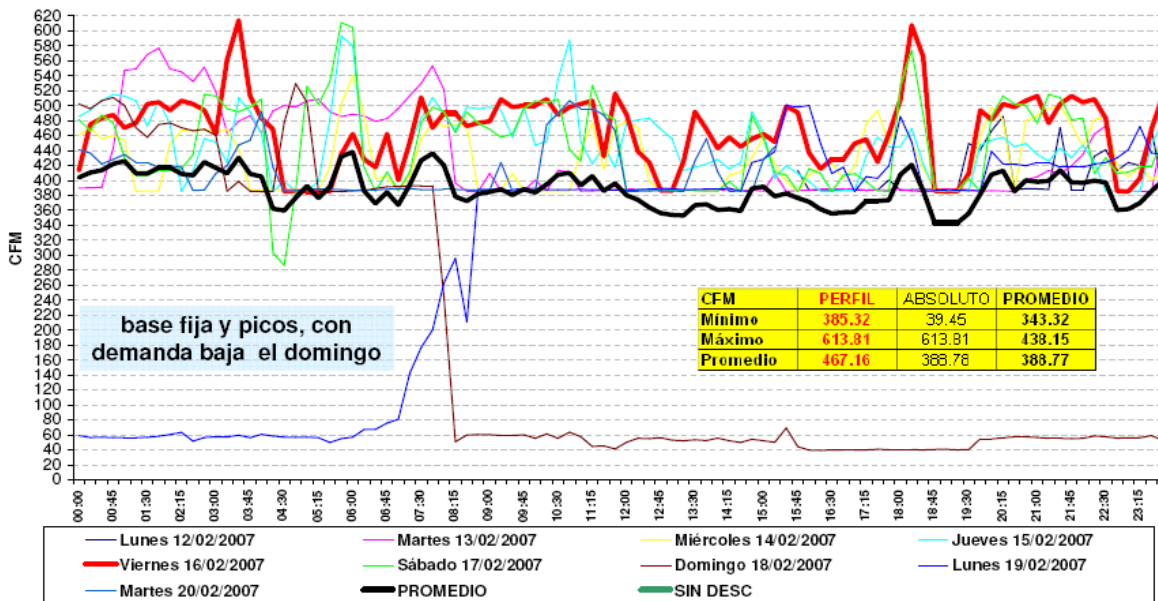


Fig.3.11. Gráfica de demanda total de la planta
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 25.

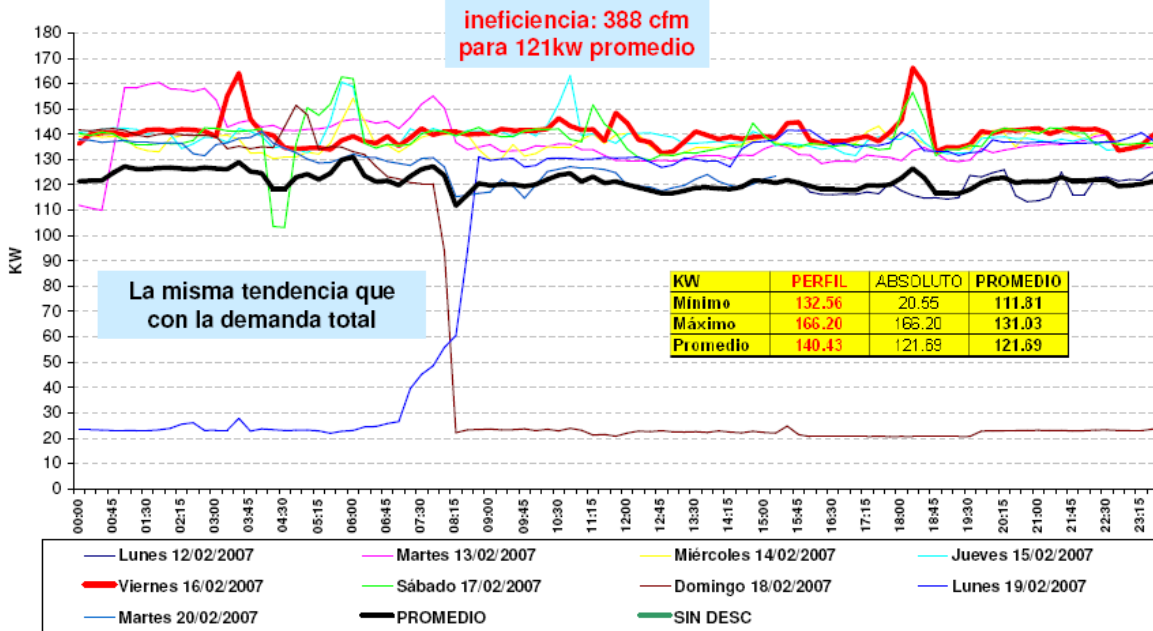


Fig.3.12. Gráfica de consumo eléctrico por compresores
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 26.

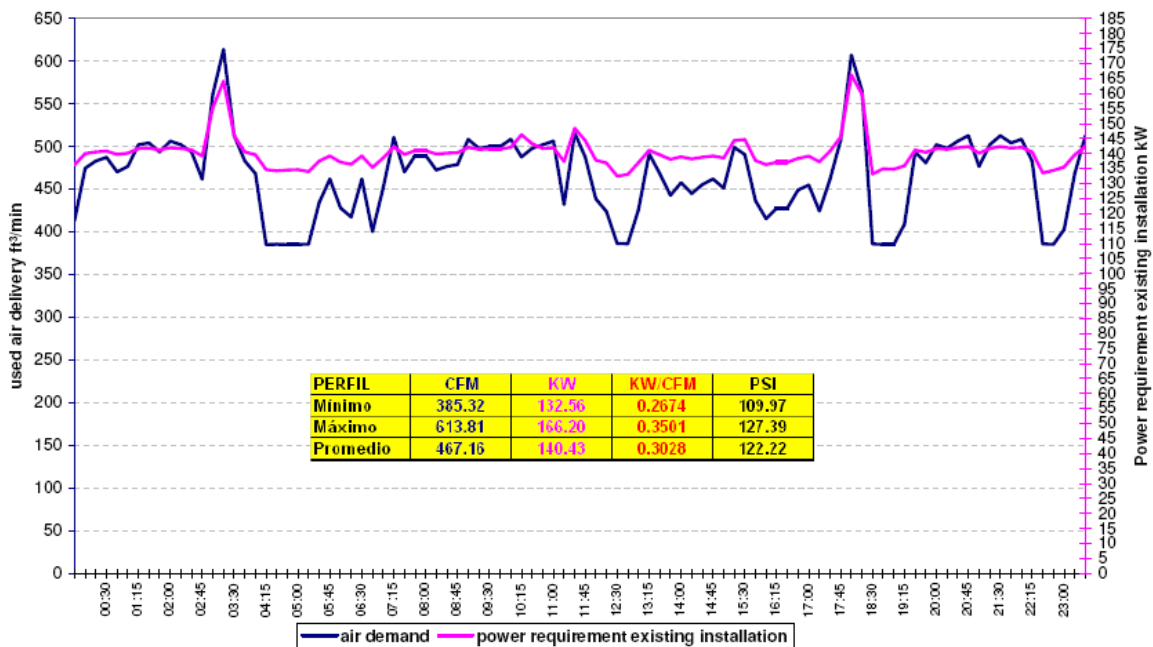


Fig.3.13. Gráfica de perfil de demanda con consumo energético
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 35.

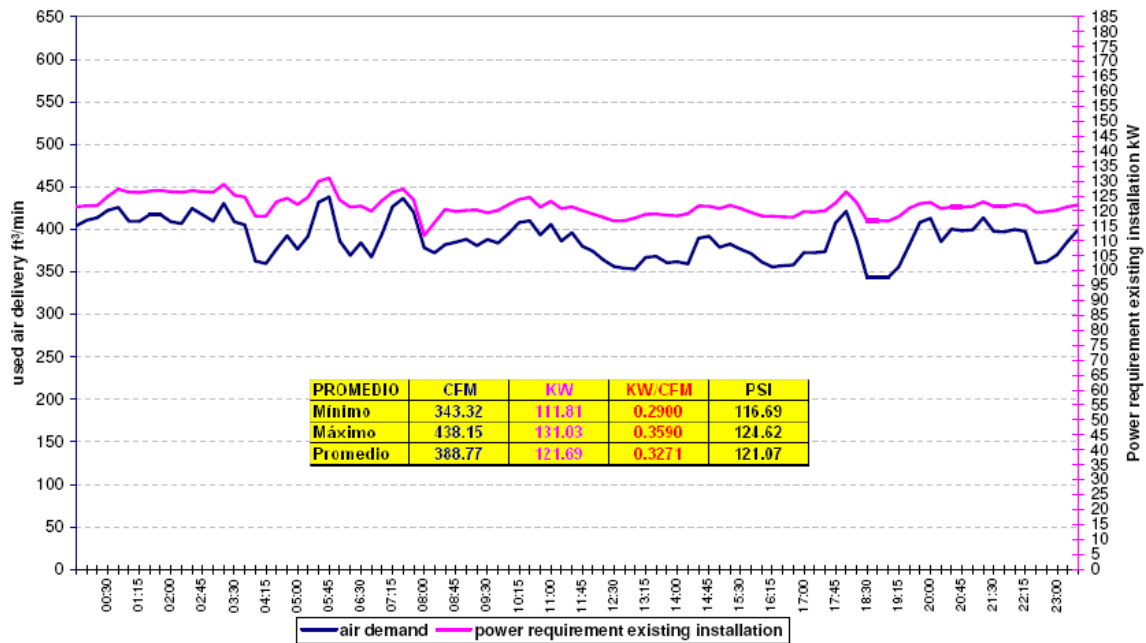


Fig.3.14. Gráfica de promedio de demanda con consumo energético
Fuente: Kaeser, Estudio sistema generación aire comprimido, pg. 36.

Como resultado del análisis energético de la situación actual del sistema de aire comprimido según el perfil de demanda y el promedio para todos los compresores se obtuvo el costo anual de energía eléctrica, el cual se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.3. Costos anuales de electricidad

CONCEPTO	PERFIL	PROMEDIO
Precio del kwh	\$0,13	\$0,13
Cantidad de días	300	345
Horas de trabajo diarios	24	24
Demanda anual (pie3/año)	201811287,08	193142334,40
Costos anuales electricidad	\$131.519,89	\$131.069,36

3.3.3. ANÁLISIS DE FALLAS

Luego de haber planteado el problema que se tiene en el sistema de aire comprimido, y con ayuda de la recopilación de datos y el diagnóstico energético, se realizó un árbol de fallas para el caso específico de este sistema en el que se muestran las probables causas del problema como se presenta a continuación.

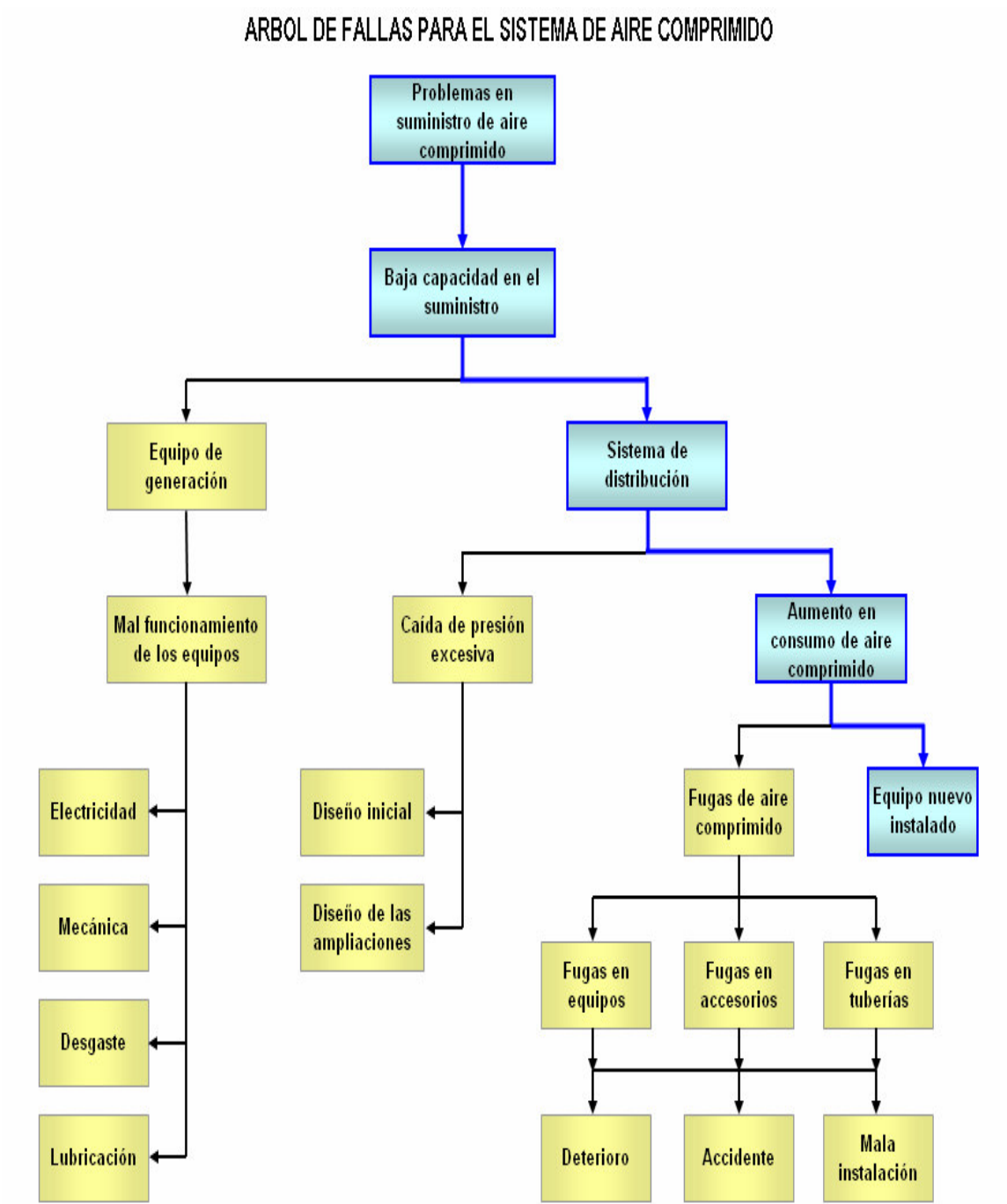


Fig.3.15. Árbol de fallas para el sistema de aire comprimido

3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de revisar y analizar los resultados obtenidos del trabajo que se ha realizado, se presentan a continuación los siguientes comentarios.

1. Por medio de la recopilación de datos se obtuvo el inventario de los equipos que conforman el sistema de aire comprimido tanto en la parte de suministro como en la parte de la demanda, con los datos técnicos del fabricante.
2. En el listado correspondiente a las líneas de distribución podemos darnos cuenta que la línea secundaria 1.7 es la única que maneja una presión de 115 psi debido a que debe alimentar cuatro máquinas empacadoras que trabajan con dicha presión, los demás equipos trabajan a 100 psi. Por lo anteriormente descrito, se puede identificar este resultado como un área de oportunidad, ya que se puede analizar la reducción de presión del sistema, obteniendo con ello un ahorro en la energía utilizada de 1% por cada 2 psi. que se logren reducir.
3. Al revisar las líneas de distribución para la elaboración del diagrama de la situación actual del mismo, se pudo observar que las líneas principales se encuentran trabajando como redes en circuito abierto, por lo que obtendríamos una mejora al momento de convertir dichas líneas como redes que trabajan en circuito cerrado, debido a las ventajas de operación que este circuito tiene.
4. Analizando las gráficas de presión del diagnóstico energético, se puede observar que las presiones, tanto en la generación como en la red varían demasiado. Hay que hacer notar que el sistema debería mantener una banda de presión de +/- 1.5 psi, para que los equipos no presenten problemas en la operación.
5. También puede notarse que existe muy poca diferencia de presión entre la presión de la red y la presión de generación. Esto se ve reflejado en la gráfica de pérdida de presión en la red con un promedio de 2.77 psi y un promedio del perfil de 3.41 psi. Hay que hacer notar que aunque la pérdida de presión ideal no debe exceder los 1.5 psi, las mediciones exceden el ideal pero se encuentran en un rango aceptable.
6. Al analizar la gráfica de entrega del compresor de 150HP, lo primero que puede observarse es que está suministrando un caudal muy bajo con respecto a su capacidad de generación nominal, en promedio 427 cfm, denotando una baja eficiencia de operación aproximadamente 64%. También se debe tener en cuenta que este compresor es de uso continuo

- y tiene entre 15 y 16 años de estar operando en la empresa como compresor principal del sistema de aire comprimido.
7. La gráfica de entrega del compresor de 50 HP nos indica que éste trabaja cuando existen picos en el consumo de aire comprimido y que topa su capacidad al presentarse éstos. Lo mismo sucede con el compresor de 25 HP.
 8. Enlazando la gráfica de demanda total de la planta con las gráficas de entrega de los compresores observamos que debido a la demanda actual existente, estos tres compresores se encuentran trabajando como un conjunto, en el que el compresor de 150 HP se encarga de suministrar el aire para el consumo base fijo del sistema mientras que los otros dos se encargan de los picos que se presenten, esto nos demuestra que el sistema ya no cuenta con un back-up de compresores apropiados al momento de presentarse una emergencia con el compresor principal, ocasionando esto el paro de maquinaria y por lo tanto pérdidas en la producción. Esta situación puede definirse como un área de riesgo, a la cual se deben tomar acciones correctivas inmediatas.
 9. Al analizar la gráfica de consumo eléctrico con respecto a la demanda se puede denotar que los compresores están trabajando ineficientemente debido a que utilizan 121 kw para poder producir 388 cfm lo cual nos da una energía específica de 0.312 kw/cfm. Para que un equipo trabaje eficientemente se necesita que la energía específica se mantenga entre 0.18 y 0.20 kw/cfm. De la misma forma se denota en las gráficas del perfil de demanda con consumo energético (0.3028 kw/cfm) y de promedio de demanda con consumo energético (0.32 kw/cfm),
 10. El árbol de fallas para el sistema de aire comprimido nos muestra que la causa principal de los problemas en dicho sistema es que debido a instalación de una cantidad considerable de equipos nuevos que utilizan sistemas neumáticos, los cuales se alimentan de la red de distribución provocan una baja capacidad en el suministro por parte del compresor principal ocasionando que los compresores auxiliares deban trabajar en forma continua.

CONCLUSIONES

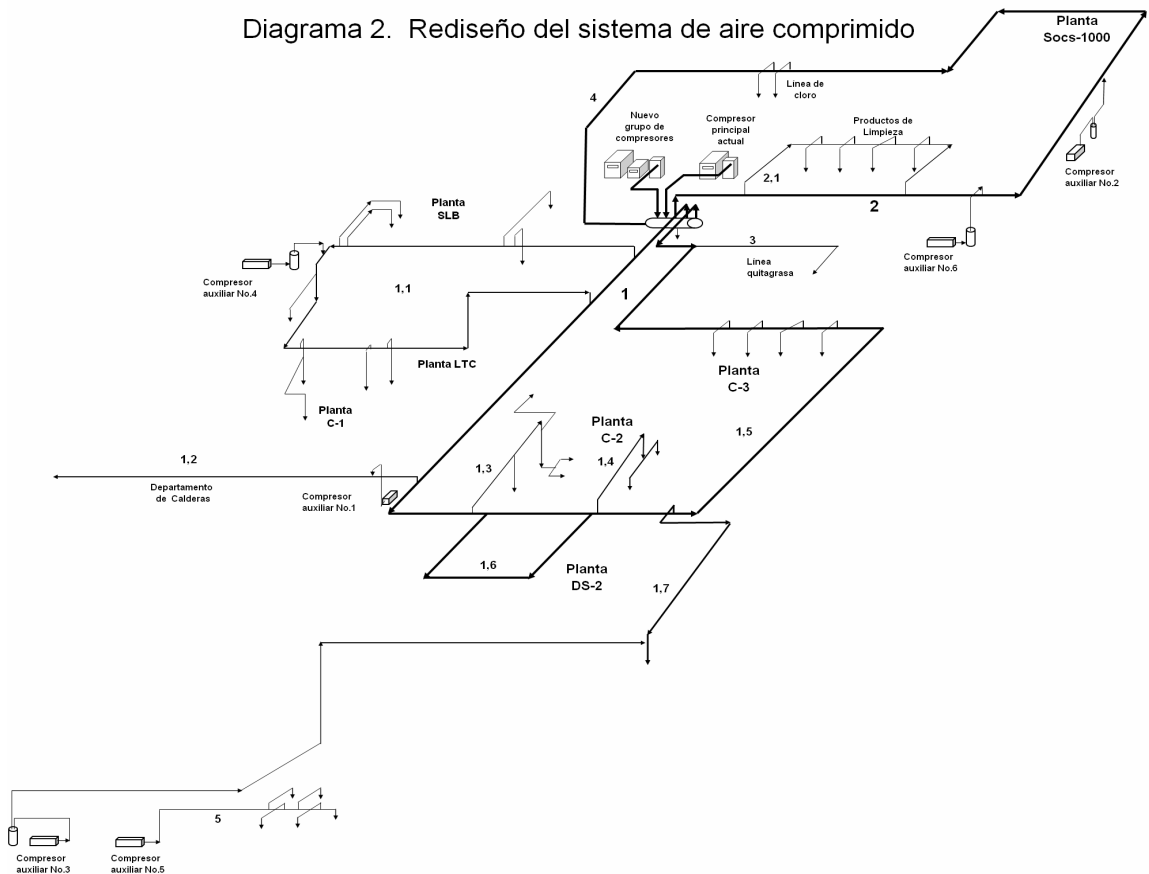
1. Mediante la recopilación de datos se determinó la cantidad de equipos que componen el sistema de aire comprimido, como se muestra en las tablas 3.1 “Capacidad instalada para generación” y 3.2 “Consumo por línea de distribución”.
2. Por medio del diagnóstico energético, se determinaron las condiciones actuales a las que se encuentra trabajando el sistema, entre las que podemos enumerar las siguientes:
 - a. La pérdida de presión promedio que existe entre el sistema de generación y la red de distribución es de 2.77 psi., lo cual muestra que se encuentra en un rango aceptable muy cerca de la condición ideal 1.5 psi.
 - b. Luego de analizar las gráficas del diagnóstico energético en lo que respecta a rangos de presión, entrega de los compresores, consumo eléctrico con respecto a la demanda y energía específica, de lo cual se obtuvo como valor promedio 0.312 kw/cfm y conociendo que el rango para que un equipo trabaje eficientemente se debe mantener entre 0.18 y 0.20 kw/cfm, se concluye, que el equipo de generación del sistema de aire comprimido actualmente trabaja ineficientemente.
 - c. Mediante el análisis de las gráficas de demanda total de la planta y entrega de los compresores, se observa que éstos actualmente se encuentran trabajando como un conjunto de compresores en los que uno absorbe el consumo base fijo del sistema y los otros se encargan de los picos que se presenten en el consumo, por lo que ya no se cuenta con un equipo de resguardo al momento de presentarse una emergencia con el compresor que actualmente llamamos principal, por lo que el sistema no se encuentra apto para brindar un buen servicio en todo momento.
3. Por medio del análisis de fallas se determinó que debido a la instalación de una cantidad considerable de equipos nuevos que utilizan sistemas neumáticos, los cuales se alimentan de la red de distribución de aire comprimido, provocan una baja capacidad en el suministro por parte del compresor principal ocasionando con ello que los compresores auxiliares deban trabajar en forma continua, lo cual denota que actualmente el sistema de aire comprimido no cumple con los requerimientos necesarios para proporcionar en todo momento un servicio adecuado a los equipos instalados en las líneas de producción que utilizan sistemas neumáticos.

RECOMENDACIONES

1. Para un mejor funcionamiento del sistema de distribución de aire se deben realizar las siguientes modificaciones, las cuales se muestran en el diagrama 2. "Rediseño del sistema de aire comprimido".
 - Las líneas principales que actualmente se encuentran como sistemas en circuito abierto se deben modificar para trabajar como sistemas en circuito cerrado, para asegurar que el aire comprimido se distribuya homogéneamente y que toda la maquinaria reciba la cantidad de aire que necesita, de la siguiente forma:
 - Uniendo la línea No.1 con la No.3.
 - En la línea No.2 se deben eliminar las reducciones en la tubería y unirse con la línea No.4
 - La instalación del compresor auxiliar No.4 en la línea secundaria 1.1
 - La línea secundaria 2.1 debe convertirse en sistema de circuito cerrado.

El costo aproximado de estas modificaciones es de \$.12,000.00.

Fig.5.1. Rediseño del sistema de aire comprimido



2. Como se verificó que la línea secundaria de distribución de aire comprimido 1.7 es la única que debe trabajar con la presión de operación de 115 psi, para alimentar a cuatro máquinas empacadoras de detergente. Esta propuesta se basa en la modificación de la tubería, para que estas cuatro máquinas sean alimentadas específicamente por medio del compresor auxiliar No.5 el cual quedaría programado para dicha presión de operación. Con esto se podrían programar los demás compresores para trabajar a una presión de operación de 100 psi., Se habla de una diferencia en la presión de operación de 15 psi y por lo tanto un ahorro de \$.9863.99 en el costo anual de la energía del sistema.
3. Es muy importante la elaboración de un programa de revisiones periódicas y limpiezas para los compresores y secadores, obteniendo con ello un mejor control de los mismos, previniendo o corrigiendo prematuramente problemas o situaciones anormales que puedan ocasionar serios daños o un mal funcionamiento de los mismos.
4. Al igual que en el sistema de producción de aire, debe elaborarse un programa de revisiones en lo que respecta al sistema de distribución de aire, el cual debe incluir revisiones periódicas de las unidades de mantenimiento de la maquinaria, de las tuberías y accesorios para detección de fugas y reparación de las mismas, también como revisión y control de accesorios especiales para tratamiento del aire tales como filtros coalescentes y drenadores de condensado, que se encuentren en las líneas de distribución, y además instalación de los mismos en los lugares donde sea necesario.
5. Se deben instalar 4 tanques pulmón de 1000 litros de capacidad cada uno, en las áreas en donde se encuentren las más altas demandas en el consumo, con el objeto de poder almacenar aire comprimido, para que el sistema soporte un poco más al momento que existan picos en la demanda de aire comprimido. El costo aproximado de dichos tanques es de \$.15,000.00.
6. La propuesta más importante es la adquisición de un nuevo conjunto compuesto de dos compresores de tornillo rotativo de 100 y 50 HP, con capacidad de despacho de 800 pies cúbicos por minuto, con su respectivo equipo para el tratamiento del aire comprimido y tanque de almacenamiento de 3000 litros, para que trabajen como equipos principales del sistema y dejar los equipos de generación que actualmente se están utilizando, como equipos auxiliares, obteniendo con ello una optimización en el sistema de aire comprimido, para que proporcione en todo momento un servicio adecuado a los equipos instalados en las líneas

de producción que utilizan sistemas neumáticos. El costo para esta propuesta que incluye la compra de los compresores y los gastos de instalación es de \$.115,000.00. Con ello el ahorro esperado en el consumo anual de energía es de 44.5%, ascendiendo a un total de \$.58,521.89.

7. Para poder justificar el desarrollo de las recomendaciones anteriormente mencionadas es necesario conocer que cantidad de dinero debe invertirse y en cuanto tiempo retornará dicha inversión para con ello determinar si es factible poder desarrollarlas. Por lo que los datos principales se enumeran a continuación:
 - a. El costo aproximado de la inversión es de \$.142,000.00 .
 - b. La pérdida de producción asciende a un costo de \$.129,000.00.
 - c. El costo de oportunidad por reducción de presión es de \$.9863.99.
 - d. El costo de oportunidad en la compra de los equipos de aire asciende a un total de \$.58,521.89.
 - e. Los costos de mantenimiento asociado al sistema de aire comprimido corresponde al presupuesto del año 2007, con un total de \$.30,000.00.

Estos costos sirvieron para realizar los cálculos correspondientes, obteniendo como resultado una tasa interna de retorno (TIR) de 83.3% y un retorno de la inversión de 1.6 años, con lo que podemos asegurar que dicha inversión es rentable.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene y Theodore Baumeister, **Manual del Ingeniero Mecánico**, 9ª. Edición, tr. Francisco G. Noriega, José Enrique de la Cera Alonso, María Teresa Aguilar Ortega. México: Ed. McGraw-Hill, 1996.
2. CREUS, Antonio, **Instrumentación Industrial**, 4ª. Edición, Barcelona, España: Ediciones Marcombo S.A., 1989, 717 páginas.
3. GIBBS, Charles W., **Compressed Air and Gas Data**, 2ª. Edición, New Jersey U.S.A.: Ingersoll Rand Company, 1971, 725 páginas.
4. GODOY, Miguel, **Henkel estudio del sistema de generación de aire comprimido**, Guatemala, Kaeser Compresores de Guatemala, 2007, 52 páginas.
5. ROSALER, Robert C., **Manual de Mantenimiento Industrial**, 1ª. Edición, México D.F.: Ed. McGraw-Hill, 1987.
6. SEVERNS, W.H., H.E. Degler y J.C. Miles, **La producción de la energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases**, 5ª. Edición, España: Ed. Reverté S.A., 1992, 503 páginas.
7. **Guía técnica para sistemas de aire comprimido**, Guías para ahorro de energía en la pequeña y mediana empresa, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, México D.F., disponible en www.updce.ipn.mx/guias/ahorraraire.pdf