



FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**Propuesta de mantenimiento
del compresor de aire NK de la
central eléctrica Fuel-Oíl Moa**

Autor: Obet Rodríguez Borges

Tutor: Ms. C. Jorge Luis Reyes de la Cruz

Moa, 2019

AGRADECIMIENTOS

Ante todo lo que podria decir le doy gracias a nuestro Dios que esta en los cielos por que a pesar de que el proceso ha sido largo y difícil me dado las fuerzas para alcanzar la meta que el ha puesto en mi camino la cual no solamente es para mi sino para aquellos que han sido parte de este recorrido junto brindandome apoyo emocional, espiritual y material necesario.

Le doy gracias a mi familia, a mis padres y hermana que a pesar de la distancia han mostrado que se puede estar al lado de quien se ama aunque fisicamente no se este.

Le doy gracias a mi novia por su amor incondicional que en los momentos mas difíciles me ha dado fuerzas para andar y proseguir el camino, a su familia que han sido capaces de compartir el interes de ser un profesional brindando su ayuda y cuidado los cuales han sido necesarios.

Gracias a mi tutor Jorge Luis Reyes de la Cruz por tomar el tiempo y la dedicación necesarios para alcanzar el objetivo propuesto cuando emprendi el curso como Ingeniero Mecánico Industrial.

Gracias a mis amigos y todos aquellos que aunque quiciera nombrarles no lo hago para que no se me quede ninguno sin recibir el agradecimiento.

A todos ustedes Dios les bendiga.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo proponer un mantenimiento planificado para un compresor de aire modelo NK perteneciente a los motores de combustión interna de la Empresa eléctrica Fuel-Oíl de Moa, debido a las frecuentes roturas el equipo no responde a obtener un funcionamiento estable al rendimiento requerido para ello se consulta la bibliografía relacionada con el Mantenimiento Industrial evaluando el equipo mediante las herramientas del mantenimiento se propuso el sistema preventivo con medición de parámetros y síntomas. Con la nueva propuesta se reducen costos en tiempo de reparación y recursos para las reparaciones, se jerarquizan los componentes más críticos que son las válvulas y los filtros, el subsistema que más frecuencia de fallos presenta es el de alimentación y se puede predecir los fallos iniciales y potenciales que incurren en la avería del equipo. La instauración del sistema de mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas genera un costo adicional en mano de obra superando al actual en 4 020 CUP pero reduce las sustituciones de piezas por reparaciones imprevistas generando un ahorro de 1 855 CUP por intervención lo que representa el 30 % de las fallas del compresor de aire NK.

ABTRACTS

The objective of this work is to propose a planned maintenance for an NK model air compressor belonging to the internal combustion engines of the Moa Fuel-Oil Electric Company, due to frequent breakages the equipment does not respond to obtain a stable performance to the required performance For this, the bibliography related to the Industrial Maintenance is consulted, evaluating the equipment through the maintenance tools, the preventive system with measurement of parameters and symptoms was proposed. With the new proposal, costs in repair time and resources for repairs are reduced, the most critical components are the valves and filters, the subsystem that has the most frequency of failures is the power supply and the initial failures can be predicted. and potentials that incur equipment failure. The establishment of the system of preventive maintenance with measurement of parameters and symptoms generates an additional cost in labor surpassing the current one in 4 020 CUP but reduces the substitutions of pieces for unforeseen repairs generating a saving of 1 855 CUP per intervention which represents 30% of the NK air compressor failures.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Características del mantenimiento.....	1
1.2.2. Objetivos del mantenimiento.....	6
1.2.3. Funciones del mantenimiento.....	7
1.2.4. Sistemas de mantenimiento.	7
1.2.4.1. Mantenimiento correctivo.....	8
1.2.4.2. Mantenimiento preventivo planificado.....	8
1.2.4.3. Mantenimiento predictivo.....	9
1.2.4.4. Mantenimiento productivo total.....	9
1.2.4.5. Mantenimiento basado en confiabilidad.....	9
1.3. Criterio a nivel de maquina.....	10
1.3.1. Adecuación del sistema de mantenimiento.	11
1.3.2. Herramientas del mantenimiento.....	11
1.4. Tipos de compresores.	16
1.4.1. Compresores rotativos.....	17
1.4.2. Compresores alternativos.....	17
1.4.2.1. De una y dos etapas.....	17
1.4.2.2. De etapas múltiples.....	19
1.5. Conclusiones del capítulo.....	20
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1. Introducción.....	21
2.2. Características de los compresores de aire NK	21

2.2.1. Funciones del compresor de aire NK	22
2.3. Selección del tipo de mantenimiento.....	23
2.3.1. Adecuación del sistema de mantenimiento	23
2.3.2. Criterio a nivel de máquina para el mantenimiento.....	24
2.3.3. Metodología para la evaluación del ciclo de mantenimiento.	26
2.3.4. Periodo del ciclo de reparación.	32
2.3.5. Diagrama de Causa-Efecto.	33
2.3.6. Modos de fallo.	34
2.3.7. Generalidades sobre la criticidad.....	36
2.3.3.1. Subsistemas y componentes a analizar del equipo.	37
2.3.8. Analisis de criticidad.	38
2.3.9. Digrama de Pareto.	39
2.4. Conclusiones del Capítulo.	39
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	41
3.1. Introducción.....	41
3.2. Selección del sistema de mantenimiento.	41
3.3. Determinación del ciclo de mantenimiento.	43
3.4. Aplicación de las herramientas del mantenimiento.	46
3.4.1. Análisis de Causa-Efecto.....	46
3.4.2. Resultados de los modos de fallos y analisis de causas y efectos (FMECA).....	48
3.4.3. Análisis de Criticidad.	50
3.4.4. Análisis de Pareto.	52
3.4. Plan de mejora.	54
3.5. Valoración económica.	55

ÍNDICE

3.6. Impacto medioambiental.	57
3.7. Conclusiones del capítulo.....	58
CONCLUSIONES GENERALES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

INTRODUCCIÓN

Por ser Cuba un país subdesarrollado que cuenta con escasos recursos para invertir en su industrialización y desarrollo, es necesaria la optimización de los procesos industriales y económicos en el país para lograr el incremento de la productividad y el crecimiento de los rendimientos. El empleo racional de nuevas técnicas y el aumento cada vez mayor de la mecanización y el uso de tecnología de punta a pesar de las limitaciones de recursos representan aspectos donde se han alcanzado logros incuestionables.

Aparejado a esto, una de las empresas existentes en nuestro país es el emplazamiento de grupos electrógenos Fuel-Oíl de Moa. Desde su puesta en marcha su explotación ha sido muy importante para la economía del país, esto ha permitido el desarrollo de la zona y el progreso económico y social al generar empleo e inversiones, favoreciendo la vida de cada ciudadano cubano. Su objetivo es proceso de transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

Esta tecnología (ver Anexo 1) comienza cuando la materia prima utilizada (fuel oíl y diesel) llega al emplazamiento desde el puerto de Moa por medio de un oleoducto o por medio de pailas pertenecientes a la base de CUPET de Nicaro, el cual es depositado en dos tanques de recepción y almacenamiento 2000 m^3 cada uno, estos tanques poseen un calentador a la salida que elevan la temperatura de $60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ para mejorar la viscosidad del combustible y así su traslado hasta los tanques de uso diario.

El combustible diesel llega al emplazamiento a través de pailas pertenecientes a CUPET, las que descargan el diesel con una bomba hasta el tanque de recepción y almacenamiento de 700 m^3 , este combustible se utiliza en el arranque y parada de la central eléctrica sin ningún tratamiento para el calentamiento inicial del motor y en la parada para la limpieza del sistema de combustible, una bomba mantiene una línea común para todo el emplazamiento, desde donde se alimentan todos los motores.

El Fuel-Oíl almacenado en los tanques de recepción es tomado por cinco centrífugas de $0,00319 \text{ m}^3/\text{s}$ cada una con la finalidad de purificarlo al eliminarle las impurezas mecánicas y el agua que pueden estar contenidas en el combustible, luego lo descargan en dos tanques de uso diario de 700 m^3 cada uno. Desde estos tanques se extrae el combustible por las bombas de suministro que garantizan una presión de $650\,000 \text{ Pa}$ y flujo de $0,0072 \text{ m}^3/\text{s}$ y lo transportan hasta las unidades de tratamiento de combustible (HTU) de cada motor.

En estas unidades están ubicadas las bombas reforzadoras con presión de $0,6 \text{ MPa}$ y flujo de $0,0034 \text{ m}^3/\text{s}$ que desplazan el combustible por el calentador de petróleo a base de vapor para aumentarle la temperatura entre $120 - 155 \text{ }^\circ\text{C}$ con el objetivo de que la viscosidad del combustible se mantenga en el orden de $12 - 18 \text{ cSt}$ para finalmente transportarlo hasta el motor.

El emplazamiento cuenta con 10 motores de fabricación alemana de la firma MAN de 18 cilindros en "V" con una potencia de $18,9 \text{ MW}$, velocidad de 514 min^{-1} y un índice de consumo de $0,790 \text{ m}^3/\text{kW.h}$. Para su funcionamiento está provisto de dos sistemas de enfriamiento interno con agua, un sistema de lubricación con aceite el cual es tratado por medio de una purificadora de $0,00097 \text{ m}^3/\text{s}$, tiene un sistema de arranque por aire proveniente de compresores independiente de 3 MPa , así como sistemas de aire de admisión y gases de escape todos regulados por el sistema de control automático. Para la puesta en marcha de los motores es necesario optimizar un buen funcionamiento de estos compresores, lo que se le hace necesario un mantenimiento adecuado a su nivel de explotación.

Los compresores están compuestos por un sistema de biela, manivela, pistón para realizar la combustión interna, en caso de presiones excesivas tiene válvulas para aliviar la presión y un sistema de enfriamiento por ventilador.

Estos se encuentran entre unos de los equipos auxiliares fundamentales de la empresa en cuestión, sin embargo, han sido objetos de varias intervenciones por motivos de fallas, existiendo de esta forma ciertas limitantes asociadas a ellas, estas son:

- Insuficiente conocimiento de las causas que provocan las frecuencias de las fallas.
- Inexistencia de un análisis de datos que permitan confirmar las roturas y fundamentalmente de la data de fallos de referencia de los compresores que permitan diagnosticar con mayor verosimilitud el estado de trabajo de los mismos.
- Incapacidad del mantenimiento preventivo planificado de lograr una mejor funcionabilidad de los compresores.

Situación problemática

El emplazamiento de grupos electrógenos Fuel-Oíl de Moa en la estación suministradora de energía la cual está destinada a lograr el proceso de transformación de dicha empresa, se detectaron fallos en el mantenimiento de los compresores de aire NK pertenecientes a los motores de combustión interna del emplazamiento Fuel-Oíl de Moa, causando la rotura de la máquina.

Esto trae como consecuencia el aumento del ruido en el equipo afectando así a los trabajadores y a su vez el funcionamiento del mismo, lo que influye en el proceso de producción de la empresa, atrasando el plan de trabajo y la economía.

Problema

Frecuentes roturas de los elementos, piezas y componentes previas a la realización del mantenimiento preventivo planificado lo que conduce a paradas innecesarias en el compresor de aire NK del grupo electrógeno Fuel-Oíl de Moa.

Objeto de la investigación

Compresor de aire NK del grupo electrógeno Fuel-Oíl de Moa.

Objetivo general

Proponer un nuevo ciclo de mantenimiento, bajo las condiciones de explotación actuales que permita reducir la frecuencia de fallas en el compresor de aire NK perteneciente al emplazamiento de grupos electrógenos Fuel-Oíl de Moa.

Campo de acción

Mantenimiento al compresor de aire NK perteneciente al emplazamiento de grupos electrógenos Fuel-Oíl de Moa.

Hipótesis

Si se realiza una evaluación del sistema de mantenimiento bajo las condiciones actuales de explotación entonces se podrán reducir las frecuencias de averías de los elementos, piezas y componentes del compresor de aire NK perteneciente al emplazamiento de grupos electrógenos Fuel-Oíl de Moa.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el sistema de mantenimiento actual del compresor de aire NK de dos etapas.
- ✓ Analizar los elementos que inciden en la frecuencia de roturas del compresor de aire NK.
- ✓ Realizar una propuesta de mantenimiento basada en el mantenimiento preventivo planificado con medición de parámetros y síntomas.
- ✓ Realizar el análisis de los resultados y de la valoración económica que ofrece la nueva propuesta de mantenimiento.

Tareas del trabajo

- Evaluación del sistema de mantenimiento actual atendiendo a los datos existentes del equipo.

- Análisis de la frecuencia de roturas del compresor de aire NK.
- Propuesta de la nueva estructura de mantenimiento para el compresor de aire NK.
- Valoración de los resultados obtenidos y comparación con el mantenimiento aplicado anteriormente.

Capítulo

1

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEORICO

1.1. Introducción

La creación de un sistema de mantenimiento preventivo se realiza con la finalidad de lograr un mejor funcionamiento de los equipos, en este caso el compresor de aire NK, de este modo funcionarán con menos interrupciones por averías. Antes de plantear una metodología para el mantenimiento de los compresores de aire NK, es necesaria la revisión bibliográfica y el análisis de diferentes estudios realizados sobre los aspectos que servirán como soporte teórico para esta investigación.

El **objetivo** de este capítulo está relacionado con el estado del arte y fundamentos teóricos del mantenimiento, sus funciones, objetivos, adecuación, así como sus herramientas. Así mismo se expondrán las características del compresor de aire NK del grupo electrógeno Fuel-Oíl de Moa, sus clasificaciones y el análisis de criticidad.

1.2. Características del mantenimiento.

El mantenimiento, Picknell (2011) es un conjunto de acciones necesarias para mantener un equipo o sistema en buen estado técnico, efectuando las actividades para las cuales fue creado. Una función del mantenimiento es conservar todos los recursos involucrados de forma directa o indirecta con el sistema en el mejor estado de funcionamiento, y así garantizar la mejor calidad de operación, las mejores condiciones de seguridad laboral, el mínimo costo y derroche de energía junto a una tasa de confiabilidad elevada.

En este sentido Durán (2005), señala que el mantenimiento constituye un sistema dentro de toda organización industrial, cuya función consiste en ajustar, reparar, remplazar o modificar los componentes de una planta industrial para que la misma pueda operar satisfactoriamente en cantidad y calidad durante un período dado, y constituye uno de los modos idóneos para lograr y mantener mejoras en eficiencia, calidad, reducción de costos y de pérdidas, optimizando así la competitividad de las empresas que lo implementan dentro del contexto de la Excelencia Gerencial y Empresarial. De igual manera define los objetivos del mantenimiento en tres puntos claves:

- Dirigir la división de mantenimiento de manera que se obtengan costos totales mínimos de operación.
- Mantener las instalaciones y equipos en buenas condiciones operacionales.
- Mantener las instalaciones y equipos operando en un porcentaje óptimo del tiempo.

Estos objetivos sirven de apoyo logístico para que otras áreas empresariales puedan cumplir su función de producción de bienes o servicios.

En las empresas generadoras de energía eléctrica el empleado de mantenimiento ha reaccionado rápido a estos cambios. Esta nueva actitud incluye una creciente concientización de en qué medida una falla del equipamiento afecta la seguridad y el medioambiente; una mayor conciencia de la relación entre mantenimiento y calidad del producto, y mayores exigencias en cuanto a conseguir una alta disponibilidad y confiabilidad de la instalación, al mismo tiempo que se trabaja por la reducción de los costos. Estos cambios están exigiendo nuevas actitudes y habilidades del personal de mantenimiento, desde los gerentes, pasando por los ingenieros y supervisores, hasta llegar a los ejecutores.

1.2.2. Objetivos del mantenimiento

El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las condiciones técnicas y medioambientales, como altas temperaturas, salitre y un ambiente nocivo con materiales particulado entre 10 y 2.5 micrómetro, presencia elevada de monóxido, nitrógeno y azufre en el medio de explotación. (Torres, 2005; Neto Chusin, 2008 y De la Paz Martínez, 2015) han definido los objetivos de mantenimiento que se puede concretar de forma general en:

1. Garantizar la máxima disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.
2. Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
3. Cumplir todas las normas de seguridad para evitar accidentes y mantener la conservación del medio ambiente.
4. Maximizar la productividad y eficiencia.
5. Prolongar la vida útil económica de los activos fijos.

6. Conseguir estos objetivos a un costo razonable

Estos son los objetivos probables dentro de una industria, estarían garantizando la disponibilidad de equipo y las instalaciones con una alta confiabilidad de la misma y con el menor costo posible.

1.2.3. Funciones del mantenimiento

Portuondo Pichardo (1990) las funciones de mantenimiento caracterizan y de hecho justifican la existencia de una subdivisión de la empresa dedicada al mantenimiento. Al respecto describió las funciones básicas de mantenimiento desglosadas en primarias y secundarias. Las primeras referidas al mantenimiento, inspecciones, servicio de lubricación y protección contra la corrosión, recuperación y modificación de equipos, instalaciones y edificaciones. Las funciones secundarias incluyen la protección técnica y los medios técnicos para la limpieza tecnológica de equipos e instalaciones, los medios técnicos para la eliminación de desechos y la generación y distribución de algunas producciones auxiliares como energía eléctrica, vapor, aire comprimido, aire para instrumentos y agua de enfriamiento. Para asegurar el cumplimiento de los objetivos del mantenimiento deberán ser desarrolladas las siguientes acciones fundamentales:

- Organizar el sistema de mantenimiento que se decida establecer.
- Seleccionar, conservar y aplicar los lubricantes.
- Asesorar la gestión de inventarios de piezas de repuesto y agregados para el mantenimiento.
- Realizar evaluaciones periódicas del cumplimiento de estas acciones.

1.2.4. Sistemas de mantenimiento

Muñoz *et al.* (2003) y Seleme (2015), interpretan al mantenimiento como, el control constante de las instalaciones y componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema. Por lo que se comprueba la necesidad de establecer un ciclo de reparaciones y revisiones que mejoren la funcionabilidad del equipo.

A lo largo de los años, el mantenimiento, Prando (1996), fue cambiando gradualmente para hacer frente a las nuevas demandas que el mundo exigía en la industria, por lo que Maldonado (2012) y De la Cruz (2014), establecen en su investigación que existen distintos tipos de mantenimiento encaminados a realizar una función específica.

1.2.4.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo, Riera (2012) y Tamariz (2014), consiste en intervenir con una acción de reparación cuando el fallo se ha producido, restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina. Concibe también acciones de limpieza y lubricación con carácter preventivo acorde con recomendaciones y exigencias de los fabricantes.

Navarrete *et al.* (1986), menciona que el mantenimiento correctivo va más allá del mantenimiento de restauración que se lleva a cabo como parte del mantenimiento preventivo. Consiste en efectuar reparaciones orientadas a mejorar las instalaciones para reducir las posibilidades de que la misma avería vuelva a ocurrir.

1.2.4.1.1. Correctivo de emergencia

Este es el estado más simple del mantenimiento. Este tipo de mantenimiento consiste simplemente en actuar únicamente ante el hecho consumado de la avería para reparar. Se limita a reparar cuando un equipo falla y a restaurar si es fruto de una inspección.

1.2.4.1.2. Correctivo programado

Resulta de inspecciones o análisis de tendencias que definen que el estado de un equipo amerita una intervención, la cual es programada.

1.2.4.2. Mantenimiento preventivo planificado

Muñoz *et al.* (2003), señala que el mantenimiento preventivo planificado consiste en establecer un conjunto de actividades programadas de antemano encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos. Durante su implementación pueden ocurrir algunos inconvenientes como el cambio innecesario de algunos de sus elementos, lo que provoca un aumento del costo de la reparación planificada.

Prando (1986), menciona que el mantenimiento preventivo planificado es un programa que incluye las inspecciones planificadas, reemplazo de piezas, y reparaciones como medidas proyectadas para evitar las fallas catastróficas y controlar el deterioro.

1.2.4.3. Mantenimiento predictivo

Prando (1996), refiere que el mantenimiento predictivo es el mantenimiento planeado con base en el análisis, muestreo y registro de variables que determinan el estado de la máquina y que se controlan para predecir la falla; tales variables pueden ser nivel de vibraciones, temperatura, presión y velocidad. El mantenimiento predictivo emplea varias tecnologías para determinar la condición del equipo o de los componentes mediante la medición y el análisis de la tendencia de parámetros físicos con el objeto de detectar, analizar y corregir problemas en los equipos antes de que se produzca la falla. Es un sistema de advertencia temprana que indica que algo malo está sucediendo en el equipo, antes de que se pueda oír, verlo o sentirlo.

Muñoz *et al.* (2003), califican al mantenimiento predictivo al conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo.

1.2.4.4. Mantenimiento productivo total

Bojorquez (2008), menciona que el mantenimiento productivo total (TPM) es un método para mejorar e incrementar la productividad de la fabricación. Consiste en la aplicación práctica de datos sobre disponibilidad, cumplimiento del programa y calidad del producto. El TPM no es simplemente una estrategia de mantenimiento, sino un enfoque más integral de las mejoras de la productividad. Pensar que es solo una estrategia de mantenimiento sería pasar por alto la complejidad del concepto y subestimar el potencial de mejoramientos.

1.2.4.5. Mantenimiento basado en confiabilidad

El mantenimiento basado en la confiabilidad, Prando (1996), se fundamenta con la aplicación de análisis estadísticos de historias de fallas de equipos para optimizar la inversión en equipos y el fortalecimiento de la ingeniería de

mantenimiento a través de equipos técnicos para optimizar diseños, compras, ventas e instalaciones.

Da Costa (2010), un aspecto favorable de la filosofía del mantenimiento basado en la confiabilidad o mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

Kardec y Nascif (2002), mencionan que el crecimiento de la industrialización automatizada comenzó a señalar la confiabilidad y la disponibilidad como aspectos claves en sectores tan distintos como la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la administración de edificaciones. En algunas partes del mundo se está llegando a un punto en que, o las empresas satisfacen estos aspectos o podrán ser impedidas de funcionar. La implantación de un sistema con la Disponibilidad y la Confiabilidad se hace más evidente, es decir se refuerza el concepto de un Mantenimiento basado en la confiabilidad.

1.3. Criterio a nivel de máquina

Dependiendo del tipo de máquina, las características de la producción asociada y la importancia de esta en el proceso productivo, entre otros factores, se debe determinar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada máquina, de ahí la importancia de disponer de una metodología para su determinación. Debe considerarse además como aspecto esencial el hecho de que la influencia del diagnóstico en la rentabilidad es significativa solo cuando se vincula con el sistema de mantenimiento óptimo. Es importante destacar en este sentido la incidencia económica de la selección adecuada del sistema de mantenimiento ya que es posible que después de realizar inversiones considerables en equipamiento y modificación de las estructuras existentes, el nuevo sistema de mantenimiento no cumpla con las expectativas que justificaron su uso.

Para la selección del sistema de mantenimiento se han propuesto diferentes metodologías, las cuales analizan con distintas particularidades, diferentes criterios que aplicados a la máquina como un todo permiten determinar qué sistema de mantenimiento es el más conveniente. Para la selección del sistema de mantenimiento utilizaremos el criterio a nivel de máquina.

1.3.1. Adecuación del sistema de mantenimiento

Aunque en las industrias se ha instaurado el mantenimiento preventivo a partir de los datos suministrados por el fabricante de cada equipo, con el objetivo de elevar la eficiencia de los mantenimientos, reducir el consumo de piezas de repuesto y elevar la disponibilidad técnica, existe una tendencia actual de aplicar nuevos procedimientos de sistemas de mantenimiento, entre los cuales se encuentran:

- Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad).
- Mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento por condición.

Dependiendo del tipo de máquina, las características de la producción asociada y la importancia de esta en el proceso productivo, entre otros factores, se debe determinar el ciclo de mantenimiento más adecuado para cada máquina, de ahí la importancia de disponer de una metodología para su determinación.

Para ello se utilizan las herramientas del mantenimiento útiles para tener una mejor perspectiva de las operaciones de reparaciones a desarrollar, estas herramientas consisten en procedimientos lógicos que atienden a los parámetros funcionales de los componentes del equipo, priorizando así los elementos en los cuales se debe enfocar la mayor parte de las reparaciones.

1.3.2. Herramientas del mantenimiento

Uno de los programas actuales y de gran importancia en muchas de nuestras industrias, es el aumento de paradas por roturas imprevistas debido principalmente a las tecnologías. Para su solución se hace necesaria la

elaboración de un método de análisis de las causas que provocan los fallos en los equipos, el cual, permite obtener los resultados deseados (Tavares, 2006).

Es de especial significación para la disminución de las paradas en la producción, un análisis integral que considere los diferentes aspectos que intervienen en la ocurrencia de los fallos, su evaluación, las medidas para la corrección y prevención de estos, incluida una evaluación económica de estas medidas. Para mayor facilidad a la hora de realizar estos análisis se utilizan distintas herramientas que han sido productos de la búsqueda de nuevos métodos y esquemas que optimicen la toma de decisiones a la hora de implantar la estrategia correcta en la prevención de fallos; las herramientas de mayor difusión a escala mundial son:

- Análisis Causa – Efecto
- Modos de fallos y análisis de causas y efectos (FMECA)
- Análisis de Criticidad
- Análisis de Pareto

1.3.2.1. Análisis Causa – Efecto.

El diagrama de Causa y Efecto es utilizado para identificar las posibles causas de un problema específico. La naturaleza gráfica del diagrama permite que los grupos de profesionales organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinen exactamente las posibles causas, (Tavares, 2006).

El diagrama de Causa y Efecto se debe utilizar cuando se pueda contestar “sí” a una o a las dos preguntas siguientes:

¿Es necesario identificar las causas principales de un problema?

¿Existen ideas y/u opiniones sobre las causas de un problema?

En este sentido Díaz (1992), establece que los diagramas de causa y efecto, ilustran la relación entre las características y aquellas causas que, por razones técnicas, se consideren que ejercen un efecto sobre el proceso. Cuando se utilizan con otras herramientas estadísticas, tales como los diagramas de Pareto, los diagramas de causa y efecto son útiles para promover la mejora del proceso según prioridades, acumular y organizar los conocimientos y la tecnología, consolidar las ideas de todos los empleados sobre las actividades relacionadas

con el control, y facilitar las discusiones, la educación y otros diversos aspectos de las relaciones humanas. Puesto que todo el mundo los comprende fácilmente, son una de las herramientas importantes para la promoción y puesta en práctica del control de calidad.

El diagrama Causa-Efecto o Ishikawa, ver figura 1.1, tiene la forma de la espina dorsal de un pescado para tener una visión más ilustrativa de las fallas que pueden causar el paro funcional de un equipo.

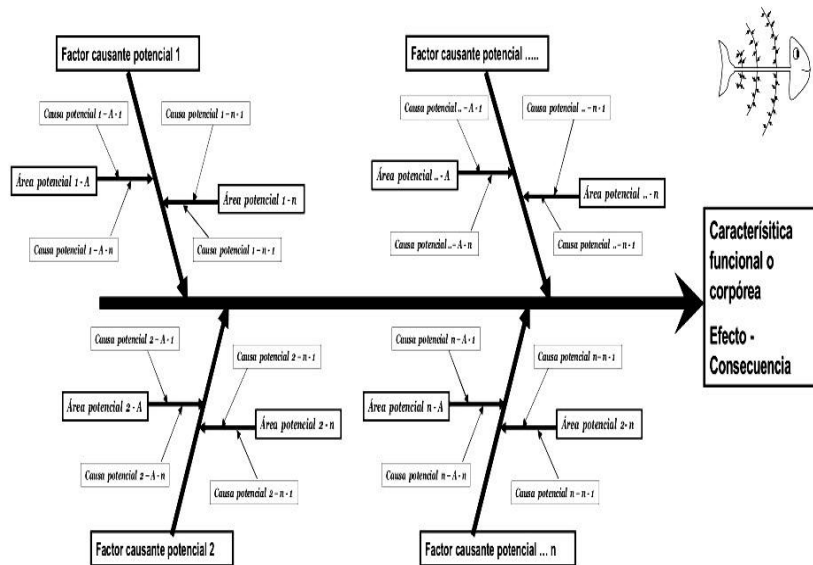


Figura 1.1. Diagrama de Ishikawa. Fuente: Mora (2005)

El diagrama de Ishikawa tiene la ventaja de que, es un esquema de fácil comprensibilidad, tiene un carácter direccional ya que muestra las áreas en las que se debe trabajar para lograr un mejor funcionamiento.

1.3.2.2. Análisis de los Modos de Fallas, sus Efectos y las Criticidades

Según Gonzáles y Hechevarría (2002), el FMECA (Failure Modes and Effects Criticality Analysis) es una metodología que permite realizar un análisis de las funciones, modos de fallos, causas y consecuencias de los fallos, en diferentes niveles de profundidad de un subsistema. Además, consiste en definir en los sistemas y subsistemas los siguientes parámetros:

- Fronteras
- Funcionabilidad
- Modos de fallo y sus frecuencias

- Causas que provocan la forma de fallar
- Consecuencias y severidad

Picknell (2011), cada componente en un sistema o equipo tiene su combinación única de modo de falla, con sus propios grados de fallas. Cada combinación de componentes es única y la ocurrencia de falla en un componente lo más probable es que esté relacionada con la ocurrencia de falla de otro. Cada sistema opera en un único ambiente que consiste en la localización, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a fluidos de distintos productos, velocidad, aceleración, entre otros. Cada uno de estos factores pueden influir en el modo de falla de estos equipos, incluso a hacerlos menos o más predominantes que otros. Es por ello que a la hora de realizar un análisis de los modos de las fallas, sus causas y sus efectos es necesario realizar las siguientes acciones:

- Determinar y especificar las funciones que realizan los ítems
- Describir las fallas resultantes de las funciones que realizan
- Describir como ocurren las fallas (modo de falla)
- Describir los efectos de las fallas

Los modos de fallo, sus efectos pueden verse el transcurso de un tiempo determinado como se muestra en la figura 1.2, en la primera etapa de inicio del fallo, estos no representan valores significativos en el funcionamiento del equipo. En la segunda etapa estos valores se incrementan y pueden variar los parámetros de funcionamiento de la maquina hasta el paro funcional.

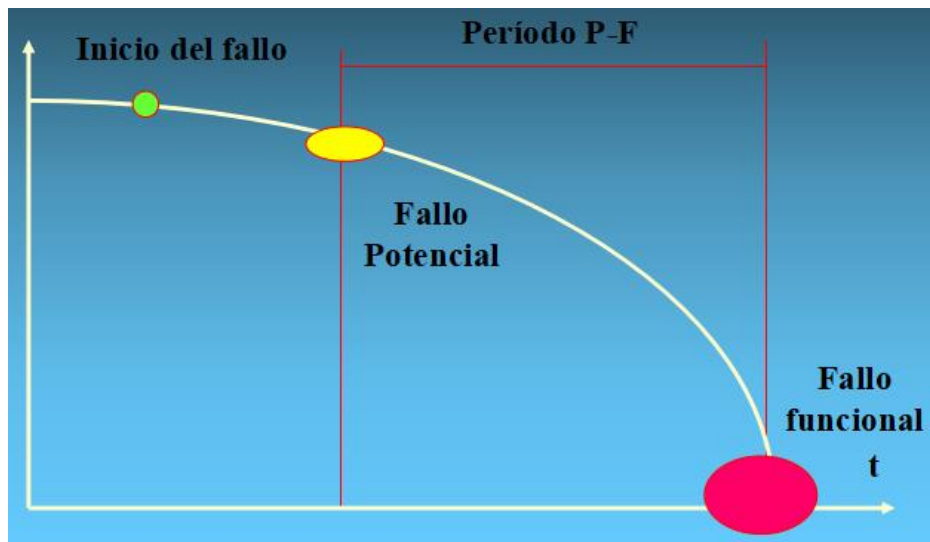


Figura 1.2. Diagrama relacionado con los modos de fallo

En la figura 1.2 relacionada con los modos de fallo se dividen las etapas de funcionamiento del equipo, en cada etapa establecida está compuesta por elementos del compresor que de acuerdo a la relevancia de cada uno de estos en el funcionamiento del equipo se colocan para tener una mejor idea del estado técnico de la máquina.

1.3.2.3. Análisis de criticidad

Mendoza (2010), se refiere al análisis de criticidad como una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

Este análisis permite trazar estrategias que permiten balancear las atenciones en un sistema determinado, estableciendo de esta forma las diferencias de prioridades que deben de poseer los equipos o instalaciones. Por otra parte, el análisis es posible establecerlo en un sistema en general o en subsistemas, siendo capaz de realizar comparaciones que permitan llegar a conclusiones más profundas y certeras, es decir, se puede realizar una ponderación entre equipos, instalaciones, e incluso entre empresas que pertenezcan a una red nacional o regional.

Según Lahera (2014), el análisis de criticidad genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total de criterios analizado, diferenciando tres zonas de clasificación:

- 1- Alta criticidad
- 2- Mediana Criticidad
- 3- Baja criticidad

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

En este sentido Mendoza (2010), destaca que el mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento.

1.3.2.4. Diagrama de Pareto.

Como último paso se debe efectuar el gráfico de Pareto, el cual es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio, (Mondelo 2014).

El diagrama de Pareto, Castillo (2006), es muy útil para obtener la cooperación de todos los involucrados porque un simple vistazo permite percibir en que consiste el problema principal: las dos o tres barras más altas son las que corresponden a la mayor parte de los problemas; las más pequeñas señalan causas menores. La experiencia enseña que es más fácil reducir a la mitad una barra alta que reducir a cero una corta. Si reducir a la mitad una barra alta requiere el mismo esfuerzo que hacer lo propio con una barra corta, no hay duda de cuál deberá seleccionarse como objetivo. Así, se puede afirmar que la gran ventaja del diagrama de Pareto es que permite precisar los factores más importantes en los cuales corresponde, por tanto, concentrar la atención.

Pareto, Picknell (2011), también llamado curva cerrada o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los pocos que son vitales a la izquierda y los muchos triviales a la derecha.

1.4. Tipos de compresores

Benlloch (1986) y Jerez (2005), menciona que un compresor en general es un equipo destinado a elevar la presión de entrada de un gas determinado, usando un parámetro fundamental denominado “relación de compresión” que no es más que la relación que existe entre la presión de descarga y la presión de entrada, atendiendo a la función y la configuración en su estructura, los compresores se clasifican de diferentes maneras.

1.4.1. Compresores rotativos

Constan de un rotor provisto de múltiples álabes que gira a gran velocidad en el interior de una carcasa, el aire y gas, aprisionado entre los álabes es acelerado e impulsado hacia afuera y hacia adelante en la dirección de la rotación.

Estos pueden clasificarse en función de sus presiones de descarga, o sea para presiones inferiores a 6 865 Pa se le denominan ventiladores. Para presiones hasta 0,29 MPa, sopladores y los superiores a esta presión son los llamados compresores, aunque todos ellos se les viene denominando turbo soplantes o turbocompresores. Ver figura 1.3.

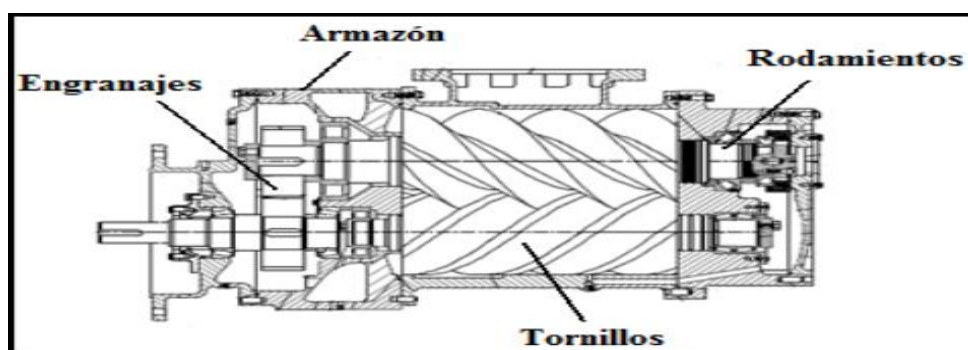


Figura 1.3. Compresor rotativo de tornillo (Gardner, 1997)

El compresor rotativo de tornillo que se muestra en la figura 1.3 no tiene el mismo mecanismo o sistemas que los compresores alternativos, la forma de comprimir es continua por lo que el flujo de aire es continuo.

1.4.2. Compresores alternativos

La aplicación de estos tipos de compresores es muy amplia y existe una variedad muy extensa; el mayor número de compresores alternativos son de una o dos etapas (figura 1.4a. y 1.4b.) y en cuanto a su lubricación son similares, por ello se le va a tratar conjuntamente.

1.4.2.1. De una y dos etapas

Los de una sola etapa pueden obtenerse presiones de descarga hasta de 980 655 Pa, en los de dos etapas se pueden alcanzar hasta 7,5 MPa, pero normalmente sus valores estándar oscilan entre 0,49 a 0,98 MPa. Normalmente la elección de utilizar de una sola etapa o de dos etapas depende de los factores económicos y de servicio, estando más indicados los de una etapa para presiones inferiores a 0,49 MPa y de dos etapas para presiones superiores a 0,69 MPa. Para presiones entre 0,49 y 0,69 MPa pueden utilizarse los de una sola etapa para capacidades inferiores a los $0,1388 \text{ m}^3/\text{s}$ y de dos para capacidades superiores.

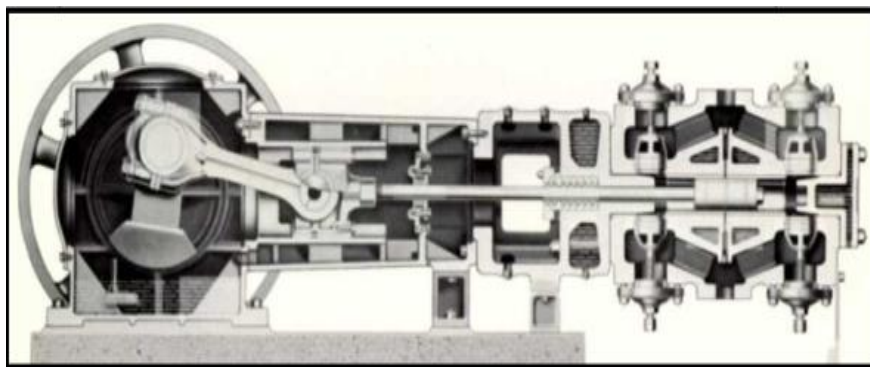


Figura 1.4a. Compresor de una etapa (Toapanta, 2009)

El compresor de una etapa que se muestra en la figura 1.4a a diferencia del compresor alternativo de dos etapas tiene menor capacidad de compresión debido a que el aire se comprime con el recorrido del sistema biela pistón en este caso tiene un solo pistón por lo que el volumen a comprimir es menor.

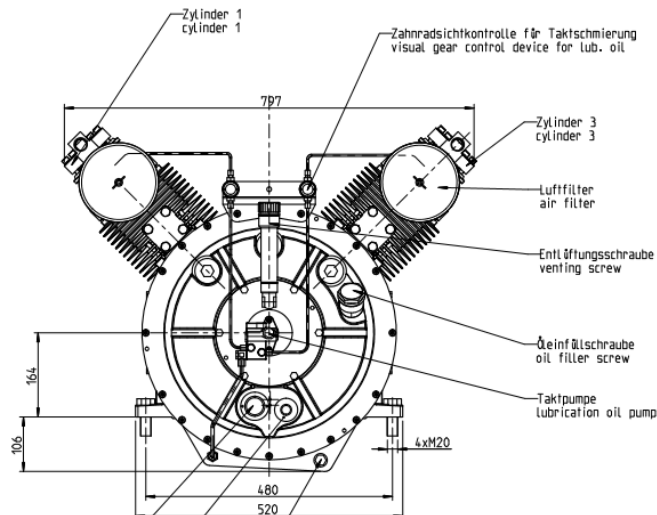


Figura 1.4b. Compresor de dos etapas, (Toapanta, 2009)

El compresor de dos etapas que se muestra en la figura 1.4b tiene mayor capacidad de compresión de aire ya que el movimiento alternativo de los dos pistones permite la almacenar más aire debido a que por cada etapa que el aire pase la compresión aumenta.

1.4.2.2. De etapas múltiples

En este tipo, los cilindros de los compresores también pueden ser de acción simple o doble y horizontal y vertical, los horizontales pueden ser en línea, en tándem o en dos grupos paralelos (dúplex). Los verticales también suelen disponerse en línea y tándem o en V o W, o sea, uno vertical y dos en ángulo.

En el mismo compresor pueden existir diversas combinaciones. Su refrigeración puede ser por aire o por agua, dependiendo del número de etapas y sus relaciones de compresión, las cuales suelen proyectarse entre 2,5 a 3,5 MPa por etapas con una temperatura de admisión de aire de 15 a 18 °C con una buena refrigeración, las temperaturas de aire de descarga suelen ser inferiores a los 150 °C, pero cuando las relaciones de compresión son entre 5 y 6 MPa, la temperatura de descarga puede ser de unos 200 °C.

Todos estos tipos de compresores, con el fin de limitar las temperaturas de descarga del aire, están provistos de sistemas de refrigeración intermedios, eliminando a su vez el agua y reduciendo la condensación de humedad en el sistema de distribución del aire. También existen separadores para la eliminación del aceite que pudiera arrastrar el aire.

En cuanto a los cilindros de estos compresores múltiples, van refrigerados por agua y uno de los factores que contribuye a elevar a las temperaturas del aire de descarga es la formación de sedimentos y depósitos en las camisas, debido al agua sucia o dura, interfiriendo en su refrigeración, por lo que es recomendable inspeccionar periódicamente y limpiar cuando se requiera. Ver figura 1.5.



Figura 1.5. Compresor de múltiples etapas (Toapanta, 2009)

Estos compresores mostrados en la figura 1.5 por lo general son utilizados en procesos a gran escala debido a su envergadura y capacidad de compresión, a diferencia de otros compresores los sistemas que lo integran como el sistema de refrigeración y alimentación producto a su extensión tiene una mayor complejidad.

1.5. Conclusiones del capítulo

- Los fundamentos teóricos relacionados con el mantenimiento industrial muestran que el mismo presenta herramientas que pueden explicar el correcto funcionamiento de un equipo.
- Se constató que las herramientas del mantenimiento constituyen los principales parámetro a la hora de reflejar el estado técnico de un equipo, lo que implica que el control de las mismas, figura como la acción muy importante en el mantenimiento.
- Se abordaron las características relacionadas al compresor de aire NK y sus clasificaciones.

Capítulo

2

MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Introducción

Es de vital importancia proyectar y organizar un ciclo de mantenimiento que garantice el funcionamiento estable de los equipos, cuyo uso es sistemático porque son imprescindibles para garantizar una producción, cada vez, más efectiva y eficiente.

Un mantenimiento, bien planificado, evitará costos o inversiones innecesarias en determinadas partes de las que estructuran el equipo que, tan solo, con la aplicación de una correcta reparación y un mantenimiento adecuado, se puede prolongar el tiempo de explotación de los mismos.

Para poder programar la reparación de los distintos equipos de las industrias, es necesario conocer el estado de sus partes, de ese modo se podrá planificar un mantenimiento más eficaz y específico. Por tanto, es necesario auxiliarse de un grupo de métodos que permiten identificar las condiciones técnicas de cada una de las partes que conforman el equipo. Ello permite establecer un orden de prioridad para la aplicación del mantenimiento, teniendo en cuenta la metodología propuesta.

El presente capítulo tiene como **objetivo** desarrollar las metodologías para evaluación de los elementos que inciden en las frecuentes roturas del compresor de aire NK.

2.2. Características del compresor de aire NK

Los compresores de aire NK modelo 60.2.3.02.02.10.23 con movimiento alternativo aspiran aire del medio y la comprimen hasta alcanzar la presión de trabajo que se necesita para el arranque de los motores de combustión interna.

Estos compresores están diseñados para el 100% de compresión que lo alcanza a los 9 000 000 Pa a 1200 m⁻¹, en caso de necesitar menos presión se trabajara al 60% de su potencia de compresión sus parámetros de trabajo se pueden ver en la tabla 2.1 donde se ven el rango de funcionamiento del equipo.

Tabla 2.1. Parámetros de trabajo del compresor de aire NK.

Parámetros	Unidad	Valor
Revoluciones	1/min	1200
Resistencia a las vibraciones	Hz	30-300
Peso	Kg	870
Consumo de potencia a 30/40 bar	Kw	23/24
Carrera	Mm	68
Caudal efectivo a 30/40 bar	m ³ /s	96/89
Cilindros	-	2
Diámetro del agujero	Mm	130/110/35
Velocidad del embolo	m/s	2,7
Carga de aceite	L	6,5

En la tabla 2.1 se muestran los parámetros de trabajo del compresor de aire NK donde se refleja que es considerado un equipo o un compresor de mediana capacidad con una velocidad pequeña y un bajo nivel de compresión.

2.2.1. Funciones del compresor de aire NK:

1. Son los equipos encargados de convertir la energía mecánica de un motor eléctrico o de combustión en energía de presión.
2. Comprimir el aire de entrada en cada etapa hasta alcanzar la compresión de trabajo necesaria.
3. Circular el aire comprimido hasta el tanque de almacenamiento de donde saldrá al sistema de arranque del motor de combustión interna.

El control automático a los compresores, que llevan los operadores en la sala de control de unidad siguen, en el tiempo, los siguientes parámetros:

- Máxima temperatura de sensores de 70-120 °C
- Dispara por sobre corriente mayor que 23 kW.

- Alta temperatura de los rodamientos del motor: desconecta a 100 °C.
- Máxima presión en la descarga: desconecta a 3 000 000 Pa
- Se bloquea por ausencia de presión de aire de entrada.
- Se bloquea por tener la compuerta de descarga abierta al entrar en servicio.

2.3. Selección del tipo de mantenimiento

Para la determinación de la propuesta se tienen en cuenta los siguientes métodos de análisis:

- **Criterio a nivel de máquina** para evaluar la máquina como un todo.
- **Análisis del diagrama Causa-Efecto** para evaluar la frecuencia con que ocurren las fallas (periódicas o instantáneas) y las causas más comunes que las provocan.
- **Análisis de los Modos de Fallos** para evaluar la severidad de las fallas.
- **Las generalidades del análisis de criticidad** para establecer la jerarquía de los sistemas, instalaciones y equipos.
- **Análisis de criticidad** para determinar la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja.
- **Análisis de Pareto** el cual permite precisar los factores más importantes en los cuales corresponde concentrar la atención.

2.3.1. Adecuación del sistema de mantenimiento

En el epígrafe 1.3.1, se comenta acerca de los sistemas de mantenimientos y la necesidad de la implantación de estos con tiempo de anticipación permitiendo pronosticar el estado del equipo y las posibles averías que podrían ocurrir en el mismo en un lapso de tiempo determinado, con el desarrollo actual se trata de a un mismo equipo establecerle más de un sistema de mantenimiento.

Para el caso del compresor de aire NK se quiere implantar el mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas, para ello se utilizan coeficientes que cuantifican aspectos a tener en cuenta para dicha selección.

Debe considerarse además como aspecto esencial el hecho de que la influencia del diagnóstico en la rentabilidad es significativa solo cuando se vincula con el sistema de mantenimiento óptimo. Es importante destacar en este sentido la incidencia económica de la selección adecuada del ciclo de mantenimiento, ya que es posible que después de realizar inversiones considerables en equipamiento y modificación de las estructuras existentes, la nueva planificación para la reparación no cumpla con las expectativas que justificaron su uso.

Para la selección del ciclo de mantenimiento se han propuesto diferentes metodologías, las cuales se analizan con distintas particularidades, diferentes criterios que, aplicados a la máquina como un todo, permiten determinar qué sistema de mantenimiento es el más conveniente. Para esta selección se utilizará el criterio a nivel de máquina (Morrow, 1986).

2.3.2. Criterio a nivel de máquina para el mantenimiento

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar, lo cual se realiza de la siguiente forma:

C1: elevado costo de adquisición de la máquina.

C2: alto costo por concepto de pérdidas de producción.

C3: no existencia de duplicado de la máquina.

C4: posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible.

C5: posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: niveles totales de vibración, temperatura y flujo.

C6: elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos de materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.

C7: elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnicas constructivas sufren deterioro de su estado técnico debido al desarme.

C8: graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación.

Los coeficientes que cumplen con la condición descrita adoptan el valor de 1 y los coeficientes que no cumplen la condición adoptan un valor igual a 0. Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{PRED} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_6}{4} \quad 2.1$$

Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{CORR/PREV} = \frac{C_{PERDIDAS} + C_{FALLAS}}{5} \quad 2.2$$

Siendo:

$$C_{PERDIDAS} = C_1 + C_2 + C_6 \quad 2.3$$

$$C_{FALLAS} = C_7 + C_8 \quad 2.4$$

En la tabla 2.2 se pueden ver las reglas utilizadas para la selección del sistema de mantenimiento, atendiendo al valor de los coeficientes y su rango.

Tabla 2.2. Reglas de selección

VALOR DE LOS COEFICIENTES	SISTEMA DE MANTENIMIENTO
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ $C7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} > 0,5$ $C4 = 0$ $C5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C4 = 1$ y/o $C5 = 1$	
$C_{PRED} \geq 0,5$ $C4 = 1$	Predictivo

En la tabla 2.2 se realiza la selección del sistema de mantenimiento después de haber evaluado los coeficientes que describen al compresor, estos se tienen en cuenta para el desarrollo del criterio a nivel de maquina dándole valores a los parámetros que representan.

2.3.3. Metodología para la evaluación del ciclo de mantenimiento

Según González (2005), un ciclo de mantenimiento es la cantidad y secuencia de los diferentes servicios de mantenimiento que se llevan a cabo en un equipo entre dos reparaciones generales, o entre la puesta en marcha y la primera reparación general, en caso de ser un equipo recién instalado. Esto constituye la parte más importante del mantenimiento preventivo, ya que se aprovecha mejor al equipo, hay seguridad en la producción, ahorro de tiempo, de mano de obra y materiales.

La estructura frecuentemente la brinda el fabricante o brinda los elementos de mantenimiento necesarios para confeccionarla. El especialista puede además auxiliarse de estructuras de equipos similares cuando no se posea información al respecto o de metodologías de cálculo empleando coeficientes. A continuación, se muestran estructuras típicas de ciclos de mantenimiento para máquinas y equipos industriales que pudieran servir de referencia (González, 2005).

1. Digestores de pulpa y máquinas especiales en la industria del papel.

Revisiones: 110; Reparaciones Pequeñas: 0; Reparaciones Medianas: 9

G-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-G

2. Máquinas de papel, de deshidratación, de vapor y de fabricar cartón.

Revisiones: 301; Reparaciones Pequeñas: 0; Reparaciones Medianas: 6

G-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-G

3. Motores eléctricos que funcionan en ambientes nocivos o desfavorables (humedad, ácidos), o que estén en malas condiciones técnicas.

Revisiones: 5; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 0

G-R-P-R-P-R-P-R-P-R-G

4. Bombas de vacío, compresores, sopladoras y motores eléctricos que funcionen en ambiente normal o que estén en buenas condiciones técnicas.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 5; Reparaciones Medianas: 0

G-R-R-P-R-R-P-R-R-P-R-R-P-R-R-P-R-R-G

5. Máquinas herramientas de corte: tornos, fresadoras, cepilladoras.

Revisiones: 9; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

6. Desmenuzadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

7. Equipos de carga y transporte, conductores y transportadores de correas.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

8. Correas transportadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

9. Líneas automáticas que tienen máquinas con las guías de las bancadas templadas, equipos de elaboración de madera, máquinas de corte de metal para desbastado, máquinas de soldadura y equipos de empaquetado.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 8; Revisiones Medianas: 3

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

10. Equipos de prensa y equipos de carga y transporte.

Revisiones: 9; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

11. Máquinas de metal ligeras y pequeñas, equipos térmicos, prensas hidráulicas para encolado, prensado y otras operaciones, equipos anticorrosivos, equipos automáticos de repetición y de tolva, transportadores de fuga y distribución de equipos de lavado, máquinas de corte de madera.

Revisiones: 9; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

12. Transportadores elevadores, cablerías, equipos de transporte, tuberías y otras maquinarias en fábricas químicas y especiales.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 9; Reparaciones Medianas: 2

G-R-P-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-P-R-G

13. Máquinas de corte de metal grandes y pesadas, transportadores, elevadores, correas de elevadores, transportadores automáticos, equipos de control, prensas mecánicas, cortadoras grandes.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

14. Máquinas de corte de metal para el acabado.

Revisiones: 18; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

15. Equipos de carga, transporte, grúas, monorraíles y diferenciales eléctricos.

Revisiones: 36; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2

G-6R-P-6R-P-M-6R-P-6R-P-M-6R-P-6R-G

16. Equipos de Prensa.

Revisiones: 15; Reparaciones Pequeñas: 2; Reparaciones Medianas: 1

G-R-R-R-R-R-P-R-R-R-R-R-M-R-R-R-R-R-P-R-R-R-R-R-G

17. Compresores móviles, bombas centrífugas, bombas para arena (martillos).

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1

G-P-P-M-P-P-G

18. Ventiladores, bombas de ácidos.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 1

G-P-P-P-M-P-P-P-G

19. Reductores de velocidad, recomendándose que trabajen 24 horas, donde la

Revisión se hace cada 6 meses, la Reparación Pequeña cada 2 años, la Mediana, cada 3 años y la General cada 6 años.

20. Torres de cemento de refrigeración, compresores estacionarios, generadores, winches grandes y pequeños.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 8; Reparaciones Medianas: 1

G-P-P-P-P-M-P-P-P-P-G

21. Torres de madera para refrigeración.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 12; Reparaciones Medianas: 1

G-P-P-P-P-P-P-M-P-P-P-P-P-P-G

22. Tanques.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 12; Reparaciones Medianas: 1

G-P-P-P-P-P-P-M-P-P-P-P-P-P-G

23. Equipos de clasificación, masas de concentración.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 3; Reparaciones Medianas: 2

G-P-M-P-M-P-G

Después de confeccionarse el ciclo de mantenimiento es necesario determinar la duración del mismo, la cual equivale al tiempo que media entre dos reparaciones generales, es también el tiempo neto que debe funcionar el equipo entre dos reparaciones generales, descontando el tiempo que se invierte en reparaciones y

revisiones, para determinar o elegir la duración del ciclo de mantenimiento, se puede utilizar la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Horas entre reparaciones generales

Grupo	De	A
1	2 880	5 760
2	5 760	7 200
3	7 200	88 640
4	8 640	11 520
5	11 520	14 000
6	14 000	17 280
7	17 280	20 160
8	20 160	20 600
9	20 600	23 040
10	23 040	25 900
11	25 900	29 800
12	29 800	32 400
13	32 400	36 000
14	36 000	43 200
15	43 200	50 400
16	50 400	57 600
17	57 600	64 800
18	64 800	72 000
19	72 000	66 400
20	66 400	100 800
21	100 800	115 200

22	115 200	129 600
23	129 600	144 000

Equipos que pueden incluirse en los grupos anteriores:

- Transformadores eléctricos de corriente y voltaje (14- 19).
- Generadores eléctricos (6).
- Rectificadores eléctricos secos y de mercurio (19).
- Dínamos (9).
- Vehículos de acumuladores (locomotoras y otros) (5).
- Motores eléctricos que trabajan en malas condiciones ambientales (8).
- Motores eléctricos que trabajan en condiciones muy favorables (13).
- Reductores de velocidad (9).
- Equipos de alza y carga, grúas monorraíles, diferenciales eléctricos, grúas volantes de mando mecánico y grúas de puente (1-16).
- Prensas hidráulicas (3-11).
- Sierras de bastidor, máquinas recortadoras cuadriláteras, lijadoras, pulidoras, cepilladoras, sierras circulares, sinfines, tornos horizontales, taladros con avance manual (5-12).
- Equipos evaporadores, filtros, calandrias, refinadoras de disco cónico (9).
- Caustificadoras, clasificadoras de ciclón, agitadores de propela, prensas de empaquetar (14).
- Filtros espaciadores para la caustificación, digestores (6).
- Digestores fijos, verticales, horizontales, tanques de licor (19).
- Tanques y depósitos en general de productos químicos (19).

- Equipos para la refinación de petróleo por destilación atmosférica y por craqueo estático (1).
- Instalaciones para tratamientos de agua (19).
- Calderas de vapor (14).
- Turbinas de vapor (6).
- Bombas centrífugas, incluyendo las de ácidos (3).
- Equipos de corte de metales (4-19).
- Compresores móviles que trabajan en condiciones desventajosas (4).
- **Compresores estáticos (9). Resultando el equipo que se analiza en el trabajo.**
- Torres de enfriamiento de agua de madera (14).
- Torres de enfriamiento de agua de cemento (15).

El rango establecido de la duración del ciclo de reparación es amplio y la elección se realiza en función del estado técnico del equipo, años de instalado, opinión de los operadores, datos técnicos y estadísticos.

2.3.4. Periodo del ciclo de reparación

Una vez definido la estructura del ciclo de mantenimiento y su duración se podrá conocer el tiempo entre dos servicios consecutivos y entre dos reparaciones. Para ello pueden utilizarse los siguientes criterios:

Periodo entre reparaciones medianas. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas máquinas, entre dos reparaciones medianas consecutivas planificadas (Portuondo, 1983).

$$t_{rm} = \frac{T}{NM+1} \quad 2.5$$

Periodo entre reparaciones. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas maquinas entre dos reparaciones planificadas.

$$t_r = \frac{T}{NP+NM+1} \quad 2.6$$

Periodo entre intervenciones. Se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones, o sea entre dos revisiones inmediatas entre una reparación y una revisión. Para el cálculo de la duración entre intervenciones se utiliza la fórmula:

$$t_0 = \frac{T}{NR+NP+NM+1} \quad 2.7$$

Donde:

t_{rm} : Periodo que transcurre entre dos reparaciones medianas consecutivas, horas-maquinas.

t_r : Periodo que transcurre entre dos reparaciones consecutivas, horas-maquinas.

t_r : Periodo que transcurre entre dos servicios de mantenimiento cualesquiera, horas máquinas.

T : Duración del ciclo de reparación, horas maquinas.

NR : Cantidad de revisiones.

NP : Cantidad de reparaciones pequeñas.

NM : Cantidad de reparaciones medianas.

2.3.5. Diagrama Causa-Efecto

Como se comenta en el epígrafe 1.4, de las Herramientas para el Mantenimiento en el análisis de Causa-Efecto se tiene en cuenta las fallas periódicas o instantáneas del equipo y las causas más comunes que pueden causar las mismas.

- 1- El compresor necesita un tiempo desusadamente para el llenado del depósito.
 - Filtro de aspiración sucio
 - Válvulas sucias y juntas defectuosas
 - Separador de agua y aceite
- 2- El compresor hace un ruido anómalo o tiembla y se mueve demasiado

- Se han soltado las piezas de unión
 - Hay partícula exterior dentro del cabezal
 - El pistón golpea la válvula
 - Piezas desgastadas
- 3- Presión insuficiente o ha disminuido la capacidad de descarga.
- Filtro de aire sucio
 - Perdida en la válvula de seguridad
 - Perdida en el tubo de descarga
 - Junta de sellado estropeada
 - Placa de válvulas estropeadas, se han formado partículas de suciedad
 - Segmentos y cilindros gastados o estropeados
 - Fugas de aire
- 4- El compresor se calienta.
- Poca ventilación
 - Aletas de refrigeración sucias
- 5- Consumo de aceite excesivo.
- Nivel de aceite demasiado alto
 - Respiradero sucio
 - Filtro de aire obstruido
 - Segmentos y cilindros gastados
- 6- Exceso de aceite en descarga o salida.
- Ingreso de aire restringido al filtro de aire saturado
 - Anillos de pistón desgastados.
 - Sobrepassar el nivel recomendado de aceite a la hora de rellenar
 - Viscosidad de aceite inadecuada
 - Anillos de pistón instalados en la orientación inadecuada

2.3.6. Modos de fallos

Los modos de fallos de la maquina se dividen en tres etapas en cada etapa se tiene en cuenta el estado técnico del equipo, estas etapas se dividen según la complejidad

y severidad de las fallas en las cuales el mismo incurre, estas etapas se caracterizan por:

Etapa I: en el inicio de fallo el equipo está en su funcionamiento óptimo en la cual los parámetros de funcionamiento no varían o las variaciones no son significativas muchas de estos fallos pueda que no sean visibles por lo que se necesita una detallada revisión para ser detectadas y remediadas y la instrumentación necesaria para tomar muestra y datos que permitan su descubrimiento.

Etapa II: en esta etapa denominada fallo potencial las roturas ya son visibles en su mayoría o se pueden visualizar cuando los parámetros de trabajo del equipo empiezan a variar significativamente, se altera el funcionamiento del compresor y según el grado de complejidad del fallo puede ocasionar paros funcionales o grandes pérdidas en instrumentación y piezas.

Etapa III: esta es la etapa crítica llamada fallo potencial o paro catastrófico, cuando las variaciones registradas en la primera y la segunda etapa no son erradicadas se provoca el fallo funcional del equipo donde es necesario la reposición del mismo, esta es el resultado de la no injerencia y no planeación para remediar las alteraciones que se observaron.

Los parámetros utilizados para la aplicación del análisis de los Modos de Fallo obtenidos en la empresa mediante un seguimiento periódico del comportamiento y las acciones que se realizaron en las reparaciones y revisiones del compresor de aire NK se reflejan la tabla 2.3 del anexo No 2.

Para la aplicación del análisis, de los modos de fallos ocurridos en los compresores de aire NK, de la empresa eléctrica Fuel-Oíl de Moa se tuvo en cuenta una serie de parámetros, además se realizó un seguimiento periódico del comportamiento y las acciones que se llevaron a cabo en las reparaciones y revisiones del compresor de aire NK. Los parámetros se reflejan en la tabla 2.3 del anexo No 2.

2.3.7. Generalidades sobre la criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$Cr = Fr \times Cs \quad 2.8$$

Donde:

Cr: Criticidad

Fr: Frecuencia

Cs: Consecuencia

La frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales mencionados. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. Empezar un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte.

Mendoza (2001) plantea que al desarrollar un análisis de criticidad sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

2.3.4.1. Subsistemas y componentes a analizar del equipo

Primeramente, se establecerá un análisis de criticidad para los subsistemas que componen el compresor de aire NK de acuerdo a la frecuencia de las fallas registradas en cada uno de ellos seguido los componentes del compresor, su clasificación se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Subsistemas y componentes del compresor de aire NK

Subsistemas	Componentes
Enfriamiento	Válvulas
Alimentación	Filtros
Lubricación	Juntas
Transmisión	Pistón
Compresión	

Para en análisis de los subsistemas pertenecientes al compresor de aire NK se tiene en cuenta las fallas en la que en equipo incurre en un periodo determinado entre 2016-2018 estas fallas son monitoreadas por el personal técnico de la empresa Fuel-Oíl de Moa, ver Anexo 2.

2.3.8. Análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

La jerarquía de activos define el número de elementos o componentes de una instalación o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos.

Una vez que se tiene en cuenta donde se va a centrar el análisis se determina el nivel de criticidad mediante la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \{(TPPR * IP) + CR + IS + IA\} * FF$$

Donde:

TPPR - Tiempo promedio para reparar

IP - Impacto en la producción

CR - Costo en la reparación

IS - Impacto en la seguridad

IA - Impacto ambiental

FF - Frecuencia de falla

Para determinar el valor de cada uno de los criterios de importancia presentes en la ecuación es necesario plantear una guía de criticidad la cual ayudará a determinar el valor final de criticidad, la cual se encuentra en la tabla 2.5 del anexo 3.

Conocida las características en cuanto a los criterios de importancia y quedando planteada la guía de criticidad, se realiza la encuesta para determinar el valor de la criticidad.

2.3.9. Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto pueden entonces ser aplicados para mejorar la prevención de averías y ser utilizados para analizar la efectividad de los planes de medidas, es decir, si los esfuerzos de mejora arrojan resultados esperados.

El análisis se establece para los subsistemas donde se puede comprobar que el subsistema que incurre en el 80% de las fallas del compresor de aire NK es donde mismos se encuentra la pieza que mayor nivel de criticidad presenta estableciendo así la jerarquía en la que se deben hacer las reparaciones futuras y los componentes de los cuales se deben garantizar los recambios.

2.4. Conclusiones del capítulo

- Quedó establecido el procedimiento referenciado en el epígrafe 2.3 que permite realizar la selección del sistema de mantenimiento más adecuado y los cálculos que permitirán la determinación de los tiempos entre reparaciones para garantizar la explotación continua del compresor durante el proceso de producción de energía en la empresa.

- Se establece el procedimiento para determinar el análisis de criticidad del compresor de aire NK, permitiendo ver la jerarquía de los elementos de la máquina y sus subsistemas, se analiza el diagrama de Pareto en los componentes del equipo, se desarrollan los modos de fallo del compresor de aire NK y se forma el diagrama de Ishikawa.

Capítulo

3

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir de la metodología de cálculo plasmada en el capítulo dos para establecimiento de un ciclo de mantenimiento en el compresor de aire NK y para determinar los niveles e criticidad del equipo, así como también se realiza la valoración económica y el impacto medio ambiental.

El **objetivo** de este capítulo es realizar un análisis de los resultados que validen los métodos y procedimientos utilizados para dar cumplimiento a los datos obtenidos anteriormente y una valoración económica del sistema de mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas propuestos al objeto de estudio, así como su impacto al medio ambiente.

3.2. Selección del sistema de mantenimiento

El compresor NK de aire posee elevado costo de adquisición, por la función que realiza y su complejidad estructural, debido a su función; las paradas por fallas y averías de este equipo provocan pérdidas considerables en la producción, ya que se dejaría de suministrar aire a los motores de combustión. En la planta no se garantiza satisfactoriamente la producción a la hora de realizarle mantenimiento al compresor, debido a que solo se necesita que estén en funcionamiento solo dos compresores, destacando que se cuenta con equipos redundantes capaces de realizar la misma función.

El personal de mantenimiento cuenta con equipos de medición, con los cuales es posible realizarle un diagnostico al compresor y obtener un registro de variables que determinan el estado de la máquina para poder predecir la falla; tales variables pueden ser el nivel de temperatura y presión. Los costos de mantenimiento de la máquina no son elevados, debido a las dimensiones de sus piezas y la importancia que este equipo posee en el proceso productivo. Se ha demostrado que el arme y desarme del equipo no influye significativamente en su duración; al fallar un elemento del mismo es posible su recuperación, sin grandes afectaciones económicas (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1. Coeficientes de evaluación según el criterio a nivel de máquina

Coeficiente	Comprende	Valor
C1	Elevado costo de adquisición de la máquina.	1
C2	Alto costo por concepto de pérdidas de producción.	1
C3	No existencia de duplicado de la máquina.	0
C4	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina	1
C5	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros	1
C6	Elevado costo de mantenimiento de la máquina.	0
C7	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme.	0
C8	Graves consecuencias económicas de una rotura	1

El cálculo de los coeficientes que considera el criterio a nivel de máquina es utilizado para realizar la selección del sistema de mantenimiento más adecuado para el compresor de aire NK, en la tabla 3.1 se mostró el valor alcanzado por cada uno de estos coeficientes. De ahí que se pueda determinar usando las ecuaciones 2.1 a la 2.4 la magnitud de los coeficientes predictivo y correctivo/preventivo respectivamente expuestos en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Coeficientes de selección

Coeficiente	Ecuación	Valor
C_{PRED}	2.1	0,5
$C_{CORR/PREV}$	2.2	0,3

Según los índices alcanzados y en correspondencia con la metodología propuesta el sistema de mantenimiento que debe aplicarse al compresor de aire NK, según las condiciones objetivas existentes es el mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas, donde el mantenimiento se ejecutará mediante la aplicación del ciclo de reparación determinado y con la medición de los parámetros de: presión, potencia consumida y la viscosidad del aceite y los síntoma de: temperatura de trabajo, niveles de vibraciones, fugas de aire.

Debido a las condiciones ambientales severas del municipio como son, alto nivel de contaminación en el aire con materiales particulado entre 10 y 2.5 micrómetro, presencia elevada de monóxido, nitrógeno y azufre en el medio de explotación que incrementan el desgaste y el cambio frecuente de los filtros de aspiración de aire que controlan y retienen estos contaminantes.

3.3. Determinación del ciclo de mantenimiento

Debido a las incidencias y las frecuencias de los fallos repetitivo en periodos de tres años (del 2016 al 2018) evaluados y los datos recepcionados como indicadores de fallos localizados en el expediente del objeto de estudio, se realiza una propuesta para modificar el sistema de mantenimiento del compresor de aire NK estas modificaciones se pueden evidenciar en los tiempos entre reparaciones y la frecuencia con que se realizaran.

El ciclo del mantenimiento propuesto por el fabricante se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1. Ciclo de mantenimiento por catálogo

El ciclo mostrado en la figura 3.1 conformado por 10 reparaciones pequeñas, 1 reparación mediana y 1 reparación general no consta de revisiones las cuales son útiles para visualizar el comportamiento del compresor de aire NK permitiendo planificar la intervención a la que deberá ser sometido.

Los componentes del compresor de aire NK no alcanzan el tiempo planificado para la reparación por lo que se propone un nuevo ciclo de mantenimiento atendiendo a la metodología utilizada en el epígrafe 2.3.3 que, atendiendo a las interrupciones hechas al de diseño se le incrementan las intervenciones para un periodo de tiempo mayor, tratando así que los elementos de cada subsistema alcancen la reparación planificada.

El ciclo propuesto se muestra en la figura 3.2.

G - R - P - R - P - R - M - R - P - R - P - R - M - R - P - R - P - R - G

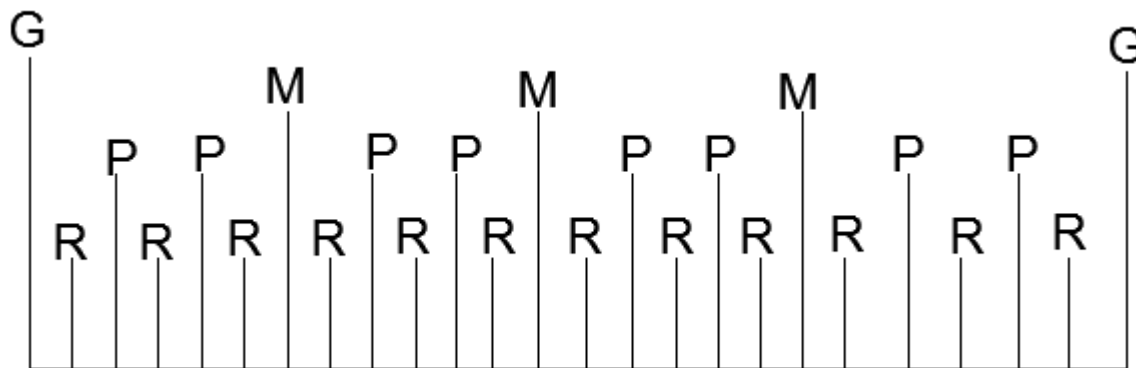


Figura 3.2. Ciclo de mantenimiento propuesto

El ciclo de mantenimiento para el compresor de aire NK que se representa en la figura 3.2 estableciendo las actividades realizadas sobre el compresor de aire NK pertenecientes al grupo 9 para compresores estáticos contempla 12 revisiones, 8 reparaciones pequeñas y 3 reparaciones medianas, 1 reparación general el cual establece un rango de 20 600 a 23 040 horas máquina entre reparaciones generales, partiendo de que las condiciones de explotación son excesivas y para una mayor seguridad de operación, se determinó como duración del ciclo de mantenimiento 21 820 horas máquinas, el cual se corresponde con el valor medio del rango establecido.

Fijado el periodo que transcurrirá entre las reparaciones generales, y establecida la estructura del ciclo de mantenimiento; se definieron los periodos entre reparaciones medianas, reparaciones pequeñas y revisiones del equipo, siendo estos de 5150, 1716 y 858,333 horas máquina respectivamente. Considerando que el equipo trabaja bajo régimen de explotación continúa, se expone que desde la puesta en marcha del mecanismo hasta la próxima reparación general transcurren 909,166 días donde se puede aseverar que las reparaciones medianas deben acometerse cada 214,583 días, el periodo entre las reparaciones pequeñas tarda 71,527 días y entre revisiones 35,777 días para realizar los cálculos se utilizaron las ecuaciones 2.5, 2.6 y 2.7. Para un mejor entendimiento de los tiempos entre intervenciones se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tiempos entre intervenciones para cada ciclo

Tipo de Intervención	Cantidad de intervenciones para cada ciclo con sus respectivos tiempos			
	Diseño	Horas entre intervención, hrs/maq	Propuesto	Horas entre intervención, hrs/maq
Revisión	0	0	12	858,333
Reparación pequeña	10	1875	8	1716,666
Reparación mediana	1	11 250	3	5150
Reparación general	1	22 500	1	20 600
Total de un ciclo	12	35 625	24	28 325

Considerando que el sistema de mantenimiento cumpla con el plan de trabajo, el comienzo sería el 1 de enero de 2020 luego de una reparación general, se puede realizar la distribución de las intervenciones (Tabla 3.4), propia del ciclo de mantenimiento.

Tabla 3.4. Distribución de las intervenciones del compresor de aire NK.

Año	Meses calendario											
2020	ene	feb	mar	abr	May	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
		R	P	R	P	R		M	R	P	R	P
2021	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	R		M	R	P	R	P	R		M	R	P
2022	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	R	P	R		G							

La distribución de las intervenciones y reparaciones aparece desarrollada en la tabla 3.1, contemplando un periodo aproximado de 2 años y 5 meses, que abarca desde enero de 2020 a mayo de 2022, considerando que el equipo comenzó en operación en la fecha fijada.

3.4 Aplicación de las herramientas del mantenimiento.

La aplicación de las herramientas del mantenimiento en los compresores de aire NK, representan La guía conductora de la estrategia de mantenimiento a trazar en estos equipos. Su interdependencia es notoria y su fusión nutre de una única herramienta convincente que justifica a la vista de los directivos ejecutar la estrategia correcta de mantenimiento.

Es necesario recalcar que la interpretación de los resultados debe realizarse en un trabajo mancomunado, donde la columna vertebral del debate sea la fusión de experiencia y conocimiento, permitiendo a través de una lluvia de ideas hilvanar la estratagema que más se adecue al equipo o sistema en cuestión.

3.4.1. Análisis Causa-Efecto

Para establecer el diagrama de Ishikawa se toma como efecto – consecuencia los factores causantes potenciales que constituyen la falla del compresor de aire NK estos son:

Tiempo extenso de llenado

- Válvulas y juntas
- Filtros de aspiración
- Separador de agua y aceite

Presión insuficiente

- Tubo de descarga
- Fugas de aire
- Válvulas de seguridad
- Filtros de aire
- Junta de sellado
- Segmentos y cilindros

El compresor se calienta

- Aletas de refrigeración

- Ventilación

Consumo de aceite excesivo

- Respiradero
- Filtro de aire
- Segmentos y cilindros

Exceso de aceite en la salida

- Relleno
- Viscosidad
- Anillos de pistón

Ruido

- Piezas de unión
- Pistón
- Piezas desgastadas
- Cabezal

Se hace necesario identificar las posibles causas de un problema específico para un mejor entendimiento de las características que se consideran que ejercen un efecto sobre el proceso permitiendo acumular y organizar los conocimientos y la tecnología, esta herramienta es de fácil entendimiento con carácter direccional mostrando donde se debe trabajar, el diagrama de Ishikawa en los compresores de aire NK se muestra en la figura 3.3.

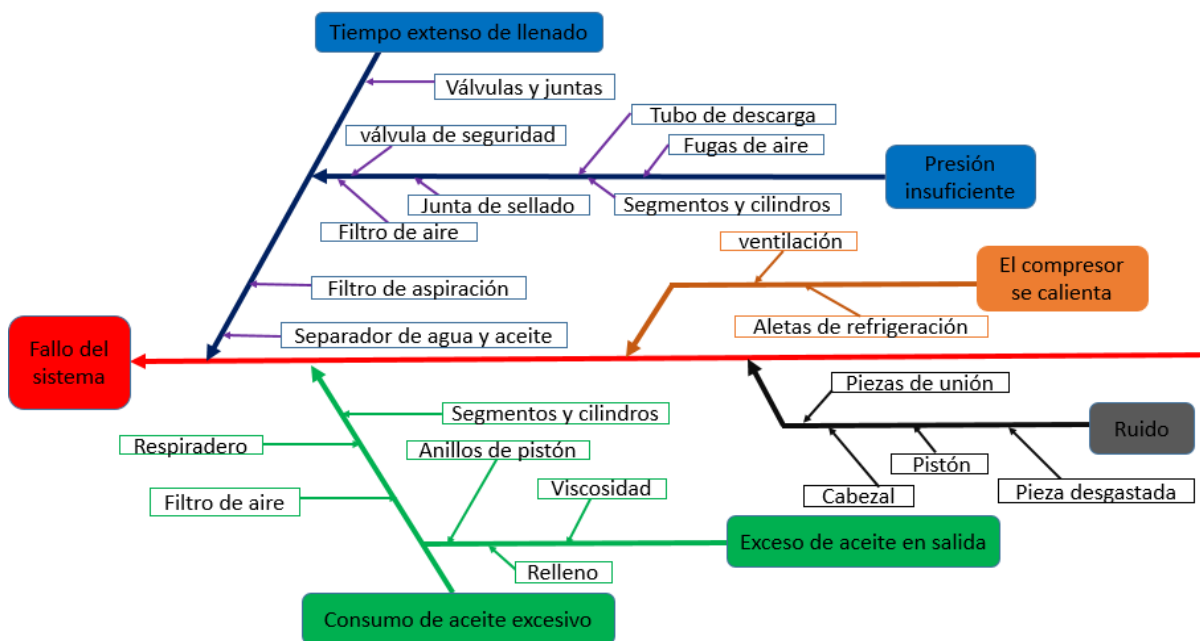


Figura 3.3. Diagrama de Ishikawa

En el diagrama correspondiente a la figura 3.3 se evalúan las causas principales y que con más frecuencia se provocan en el sistema, siguiendo la línea de explotación del compresor de aire NK en un periodo determinado.

3.3.2. Resultado de los modos de fallos y análisis de causas y efectos

El diagrama que recoge las fallas funcionales de los compresores de aire NK en la figura 3.4, se puede observar que se identificaron 10 fallas funcionales fundamentales, cada una con sus modos de fallas correspondientes donde el NPR representa la falla principal con mayor frecuencia de intervención.

Se puede observar como el deterioro de las válvulas y los filtros son los que mayor NPR posee, es decir que representa la falla principal en el equipo en cuestión. Es necesario aclarar que existen fallas que son de igual o mayor gravedad que las mencionadas, pero su frecuencia y su importancia para el proceso no son de igual nivel de significación.

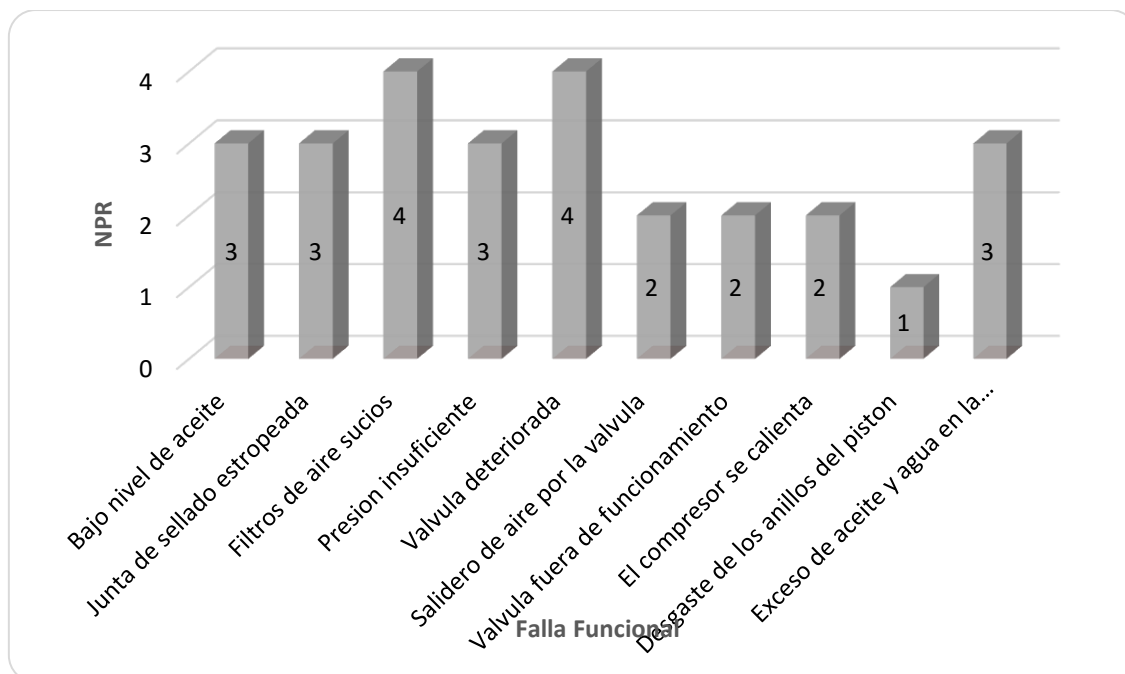


Figura 3.4. Diagrama de los Modos de Fallo

En el diagrama 3.5, se identifican por etapas, cuales son los factores o fallas que influyen en el periodo de funcionamiento del equipo hasta alcanzar su estado de explotación crítico. Estos periodos muestran en un intervalo de tiempo cuales son los subsistemas más críticos y los elementos que en estos subsistemas intervienen.

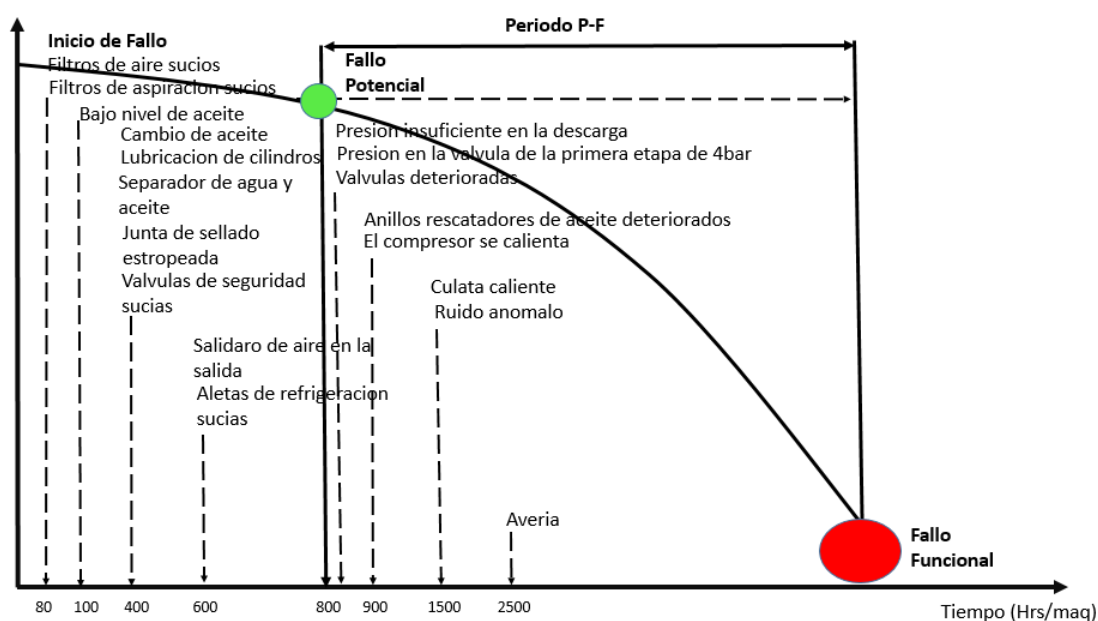


Figura 3.5. Diagrama de los modos de fallo atendiendo a las etapas

En el diagrama anterior se puede observar cuales son las fallas que en sus principios no influyen significativamente en el funcionamiento del equipo debido a los altos niveles de contaminación en el aire de aspiración los sistemas de alimentación son los primeros afectados ya que, componentes como los filtros y las válvulas de aspiración tienen contacto directo con el medio, estas en su momento pueden ser insignificantes y de poco interés para el operario o técnico encargado del compresor por lo que muchas veces no se consideran a la hora de tomar medidas de reparación, no inciden significativamente pero son la raíz de fallos que con el transcurso del tiempo si intensifican, para un tiempo de 800 hrs/maq se puede ver los fallos potenciales que no son más que el resultado de la no intervención a las alteraciones registrados anteriormente estas, producto a desgastes prolongados, acumulación de suciedades y desajustes influyen en los parámetros funcionales del compresor los que afectan el objetivo primordial de la máquina que es la compresión de aire, en caso de no ser eliminadas tienen como consecuencia el paro funcional del compresor de aire NK.

3.3.3. Análisis de criticidad

Conocida las características en cuanto a los criterios de importancia y quedando planteada la guía de criticidad, se realiza la encuesta para determinar el valor de la criticidad quedando reflejada en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Encuesta realizada para el análisis de criticidad.

Componentes	FF	IP	TPPR	CR	IS	IA	Criticidad
Válvula	4	1	2	5	0	0	28
Filtros	4	1	1	5	0	0	24
Juntas	3	1	1	5	0	0	18
Pistón	1	1	1	5	0	0	6

Los resultados de la tabla anterior demuestran que el componente más crítico es la válvula debido a que presentan los mayores niveles de criticidad. Para una mejor visualización de los resultados, se puede observar en la figura 3.6, la cual brinda una información detallada acerca de las zonas de media, baja y alta criticidad esta herramienta permite tener una idea más acertada de cuáles son los componentes

con un índice a la rotura más elevado, útil a la hora de la toma de decisiones ya que se define los objetivos a los cuales se le deben realizar más intervenciones, subdivide los elementos en secciones que pueden ser manejadas de manera controlada y auditable, para ello se cuantifica la frecuencia que está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema y las consecuencias referida con el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores y flujo), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

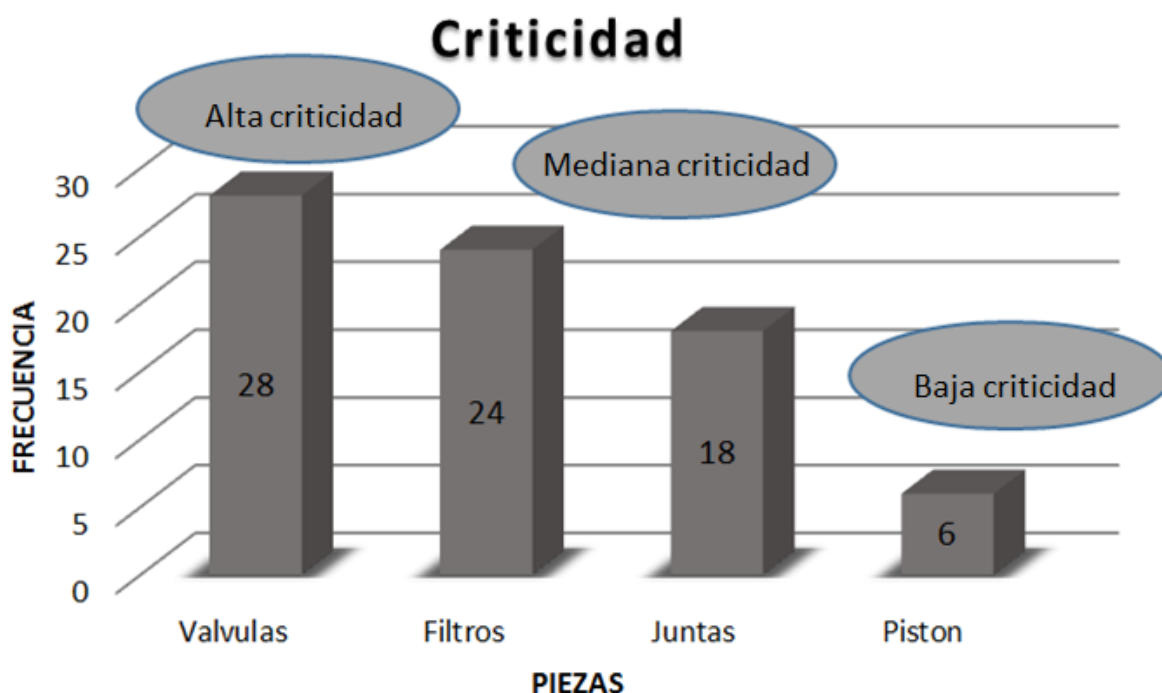


Figura 3.6. Resultados de los componentes según la criticidad

Aunque estos no son los únicos componentes o los más imprescindibles del compresor de aire NK son analizados atendiendo a parámetros que describen su frecuencia de falla y su influencia en el funcionamiento de la máquina. (ver tabla 3.6)

Tabla 3.6. Componentes pertenecientes al compresor de aire NK.

Componente	Criticidad
Válvulas	Alta
Filtros	Media
Juntas	Media
Pistón	Baja

Se puede observar que el 80 % de las fallas fue producto a fallas en las válvulas ocasionados por el alto nivel de contaminación que existe en la región seguida de los filtros que son los encargados de filtrar el aire de entrada y el aire comprimido el cual va al tanque y de ahí es utilizado en el proceso de los MCI los cuales tienen dispositivos de seguridad que se disparan cuando el contenido de aceite o agua en el mismo es demasiado elevado, por lo que estas partes del compresor de aire NK están en estrecha relación debido a que el deterioro de alguno de ellos lleva por consiguiente al fallo de los otros.

3.3.4. Análisis de Pareto

Se realiza un análisis de acuerdo al diagrama de Pareto para determinar el subsistema que incurre en la mayor cantidad de fallas, este análisis se hace atendiendo a los indicadores que se establecieron en un periodo de tres años donde se describen las roturas en las que el equipo incurre. Ver figura 3.7,3.8,3.9.

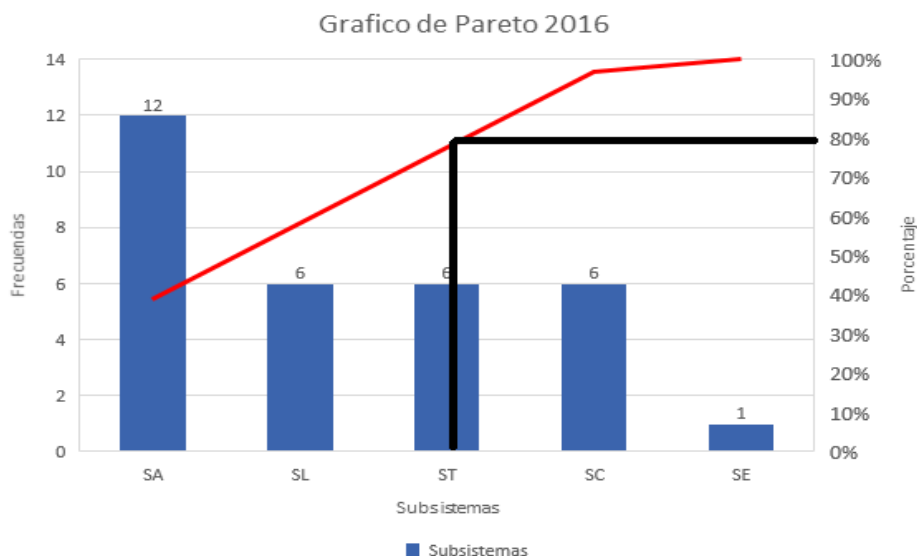


Figura 3.7. Pareto para los Indicadores del año 2016

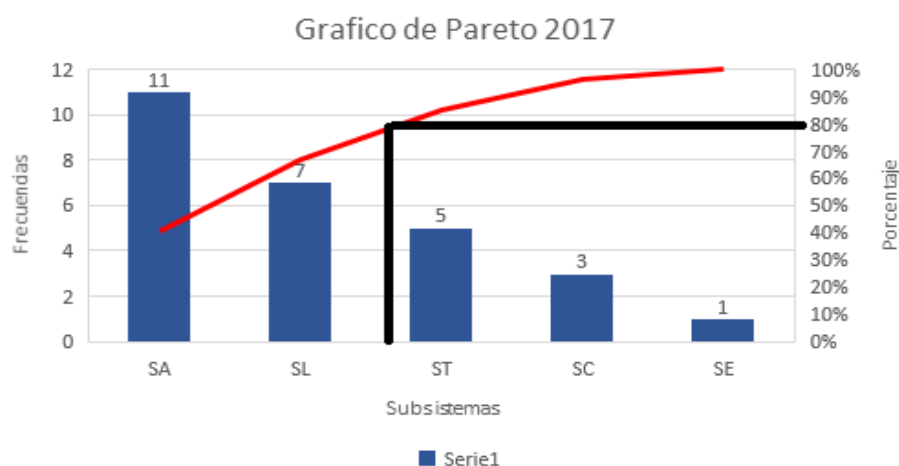


Figura 3.8. Pareto para los Indicadores del año 2017

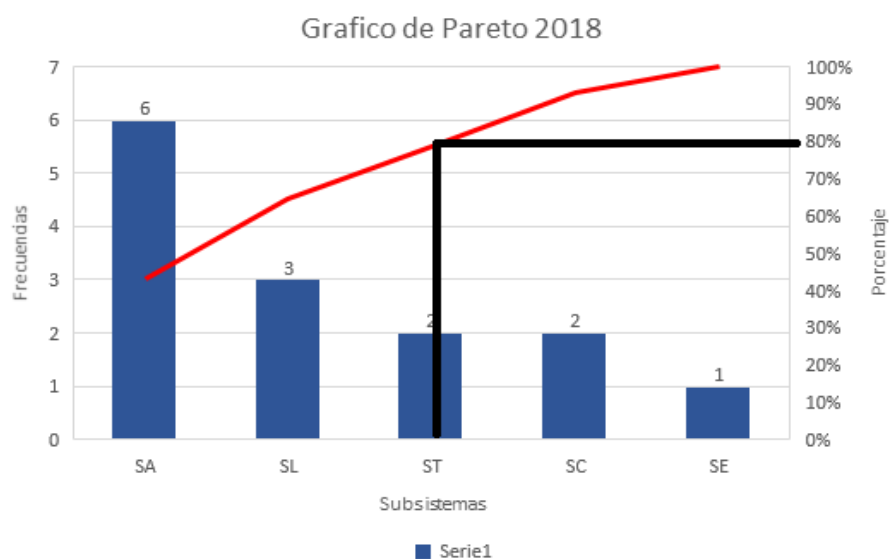


Figura 3.9. Pareto para los Indicadores del año 2018

Para los indicadores que se establecieron por año mediante el diagrama de Pareto aplicado a los subsistemas pertenecientes al compresor de aire NK de la empresa Fuel-Oíl de Moa se puede observar el 80% de las fallas son ocasionadas por el subsistema de alimentación en el transcurso de los tres años, el análisis se realiza de acuerdo a la frecuencia de falla de los componentes pertenecientes a dichos subsistemas. Al ponerse en marcha el equipo en el primer año no se toman en

cuenta las condiciones medioambientales en las cuales el mismo trabajara esto trae como consecuencia que en un periodo corto de tiempo la frecuencia de averías se eleven en el primer año.

Para los otros años se tomaron medidas preventivas que disminuyeron las frecuencias de las averías aunque no las erradicaron. Para poder erradicar estas averías es necesario establecer un plan de mejora según la descripción de cada falla, se realizaran reparaciones o sustituciones de piezas de acuerdo al estado técnico del equipo.

3.4. Plan de mejoras

Atendiendo a la utilización de las herramientas del mantenimiento se plantean actividades para mejorar el estado técnico del equipo, elementos y componentes mediante los resultados obtenidos del análisis de criticidad para las piezas y de Pareto aplicado a los subsistemas pertenecientes al compresor de aire NK.

- 1- El compresor necesita un tiempo desusadamente para el llenado del depósito.
 - Cambiar o limpiar el filtro de aspiración
 - Cambiar las válvulas sucias y juntas defectuosas
- 2- El compresor hace un ruido anómalo o tiembla y se mueve demasiado
 - Ajustar las piezas de unión
 - Cambio de piezas desgastadas
- 3- Presión insuficiente o ha disminuido la capacidad de descarga.
 - Cambiar el filtro de aire
 - Cambiar la válvula de seguridad y revisar juntas
 - Cambiar el tubo de descarga
 - Cambiar las juntas de sellado
 - Segmentos y cilindros gastados o estropeados
- 4- El compresor se calienta.
 - Colocar el equipo en un lugar donde tenga buena ventilación o colocar un ventilador
 - Limpiar las aletas de refrigeración sucias

5- Consumo de aceite excesivo.

- Mantener el nivel en los límites marcados
- Cambiar y reparar los filtros, cilindros y demás piezas dañadas

6- Exceso de aceite en descarga o salida.

- Cambiar o limpiar los filtros
- Cambiar los anillos del pistón desgastados
- Verificar los niveles de aceite necesarios
- Comprobar que el aceite utilizado sea el adecuado
- Que la instalación de los anillos sea evaluada por el personal calificado

Con el plan de mejora establecido se hacen más factibles las acciones de reparación ganando en tiempo de revisión y equipamiento utilizado para detectar la falla y la operación a realizar.

3.5. Valoración económica

La valoración económica se realiza sobre la base de los costos de mano de obra con el mantenimiento preventivo planificado con medición de parámetros y síntomas y el mantenimiento preventivo, así como el gastos a nivel de consumo de piezas por reparaciones imprevistas.

Debido al consumo elevado de piezas de repuesto por paradas imprevistas del compresor de aire NK en repetitivas ocasiones por desgastes cuando el aceite de lubricación no es renovado este se quema produciendo partículas que se introducen en las válvulas de admisión y compresión deteniendo su recorrido al no existir una correcta compresión los filtros se deterioran ocasionando su rotura, producto a estas partículas que se colocan en la camisa del pistón aumenta el coeficiente de fricción entre las paredes de la camisa y los aros provocando su deterioro.

Se realiza una valoración de los costos que se producen con la nueva propuesta del ciclo de mantenimiento atendiendo a la mano de obra (tabla 3.7) con el objetivo de poder comparar los gastos en que incurre cada sistema de mantenimiento.

Tabla 3.7. Comparación de los ciclos atendiendo a costos en mano de obra

Mantenimiento actual			Mantenimiento propuesto	
Actividad	Número de intervenciones	Costo en mano de obra, CUP	Número de intervenciones	Costo en mano de obra, CUP
Revisiones	0	0	12	420
Reparaciones pequeñas	10	4000	8	3200
Reparaciones medianas	1	2200	3	6600
Reparaciones generales	1	4120	1	4120
Total	12	10 320	24	14 340

Como se puede evidenciar en la tabla 3.7 el mantenimiento actual no consta de revisiones que son útiles para anticipar fallas y visualizar el estado del equipo en la nueva propuesta el ciclo consta de 12 revisiones las cuales incrementan los costos en 420 CUP, en cuanto a las reparaciones pequeñas existe un ahorro circunstancial de 800 CUP. Aunque la propuesta de mantenimiento tiene mejoras en cuanto al estado técnico del equipo tiene costos adicionales en mano de obra, superando al actual en 4 020 CUP.

Algunas de las desventajas del mantenimiento preventivo planificado son que el mismo está sujeto a ciclos rigurosos que ocasionada la falla exige el cambio de piezas que con intervenciones realizadas atendiendo a su análisis de estado se podrían seguir utilizando por lo que incurre en gastos elevados por sustitución de piezas principalmente las más críticas (tabla 3.8).

Tabla 3.8. Piezas de alto costo por sustitución

Piezas	Costo por sustitución, CUP
Válvulas	1 750
Filtros	2 375
Juntas	800
Pistón	950
Total	5 875

En la tabla 3.8 se ve el gasto total en el que incurren las piezas con nivel de criticidad más elevado, causantes del mayor número de fallas en el equipo. Sumando este costo al gasto total del mantenimiento actual se obtiene un incremento de 16 195 CUP, que a diferencia del mantenimiento actual el cual reduce las sustituciones de piezas por reparaciones imprevistas generando un ahorro de 1 855 CUP lo que representa el 30 % de las fallas del compresor de aire NK.

3.6. Impacto medioambiental

El compresor ha sido fabricado con el empleo de materiales habituales de máquinas acordes a la finalidad de uso y ampliamente insensible contra las influencias medioambientales dentro del marco habitual. Temperaturas atmosféricas o del entorno, que puedan sobrepasar o estar por debajo de los límites de utilización, pueden conducir a reducciones de las prestaciones y averías de funcionamiento. Debido al alto nivel de contaminación en el aire con materiales particulado entre 10 y 2.5 micrómetro, presencia elevada de monóxido, nitrógeno y azufre en el medio de explotación se requieren medidas de protección especiales. Para límites de aplicación y medidas especiales para el motor de accionamiento, véase las correspondientes instrucciones de servicio del fabricante en el apéndice.

El nivel de presión acústica permanente de la instalación es de 92 dB a niveles por encima de este valor se vuelve dañino al oído humano.

Con un correcto empleo del compresor y bajo observación de las condiciones de aplicación y seguridad correspondientes al caso de aplicación, de este no parte ningún peligro. Una influencia de terceros no se presenta.

La condensación acumulada en el depósito de aire comprimido o bien la red contiene aceite. No puede alcanzar la red de aguas residuales sin el correspondiente tratamiento: se deben cumplir las normas de la institución oficial de medio ambiente correspondiente los materiales de embalaje (cartón / películas identificadas) deben ser eliminadas por separado.

Los equipos destinados a elevar presiones constituyen un factor a tener en cuenta en la preservación del medio, sus efectos adversos son trasladados por su movilidad y la variedad de los impactos negativos que provocan por ruidos provocados por fallas de los elementos.

El desarrollo de la industria Minero Metalúrgica en la región de Moa, es una muestra de todo lo agresiva que puede ser la actividad humana sobre el medio ambiente, sin embargo, industria y ecología no son incompatible por lo que se pueden compaginar y coexistir.

La empresa afecta al medio ambiente y se pretende reducir este efecto negativo y solo se logrará creando una conciencia ambiental sólida en la sociedad para así garantizar una vida sana y agradable a las generaciones venideras ya que este es uno de los factores que incide sobre el nivel de vida de la población de Moa.

3.7. Conclusiones del capítulo

- Con la metodología propuesta el sistema de mantenimiento que debe aplicarse al compresor de aire NK, según las condiciones objetivas existentes es el mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas, donde el mantenimiento se ejecutará mediante la aplicación del ciclo de reparación con 21 820 horas/maq de duración y con la medición de los parámetros de: presión, potencia consumida y la viscosidad del aceite, y los síntomas de: temperatura de trabajo, niveles de vibraciones y fugas de aire.
- Con la implantación de este nuevo mantenimiento se prolongaría la vida útil del compresor y reduciría las fallas ya que se planifican reparaciones antes de los

tiempos de fallos registrados por los técnicos y el periodo de duración del nuevo ciclo es más amplio brindando mayor seguridad de operación.

- Atendiendo al nivel de criticidad de sus elementos se evitarán gastos innecesarios y mayor eficiencia en la máquina, dirigiendo las tareas de mantenimiento al subsistema de alimentación con el 80 % de las causas de fallo por año y dentro de los mismos las piezas más críticas que son las válvulas y los filtros con frecuencias de 28 y 24.
- Mediante los modos de fallo se visualiza la línea en la que se enfocara el trabajo prediciendo las posibles fallas que ocurrirán y cuáles de estas afectan el funcionamiento del equipo.

CONCLUSIONES GENERALES

- La evaluación del ciclo de mantenimiento actual refleja que el compresor de aire NK del grupo Fuel-Oíl de Moa contempla con 10 reparaciones pequeñas y 1 reparación mediana entre cada reparación general lo que no garantiza un buen funcionamiento.
- Los principales elementos que inciden en la frecuencia de averías del compresor de aire NK son las válvulas y filtros con una frecuencia de roturas de 28 y 24.
- La propuesta del ciclo de mantenimiento, bajo las condiciones de explotación actuales, está basada en reparaciones generales con una duración de 21 820 h y mediciones de temperaturas, viscosidad del aceite y presión del compresor.
- Con la propuesta de mantenimiento realizada se obtendrá un impacto económico generando un ahorro en reparaciones de 1 855 CUP.

RECOMENDACIONES

- Tomar mediciones en las que se tenga en cuenta las variaciones de temperatura y las vibraciones.
- Implementar el sistema de mantenimiento propuesto para los compresores NK y evaluar la posibilidad de aplicarlo a otros.
- Evaluar la posibilidad de realizar estrategias de mantenimiento utilizando el monitoreo on-line.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

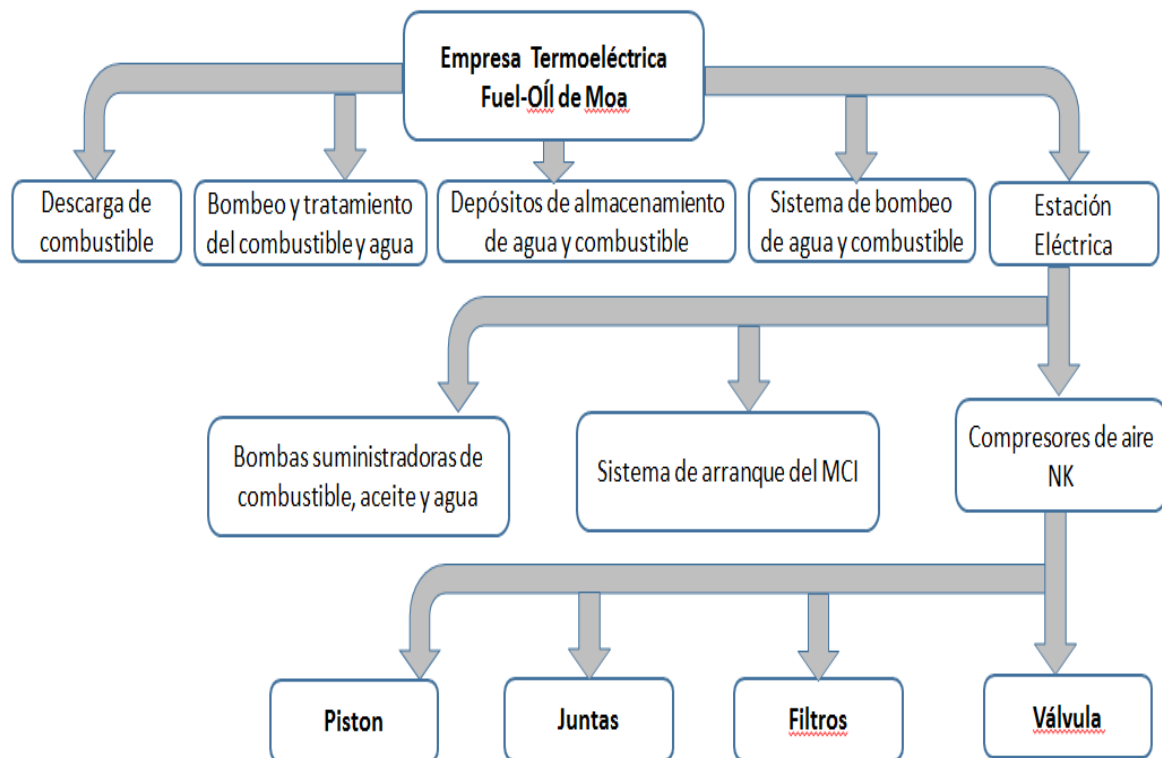
- **Benlloch, R. 1986.** Lubricantes y lubricación aplicada.
- **Bojorquez Esquer,F. 2008.** Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico. Diseño de un plan de mantenimiento productivo total para el área de texturizado de una empresa productora de yeso. Navojoa.Sonora.
- **De la Cruz Lores, A. 2014.** Trabajo de diploma en opción al título de ingeniero mecánico. Evaluación a la gestión de mantenimiento de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
- **Gardner, Denver. 1997.** Rotatory Gas Compressor – Operation and Service Manual. U.S.A: Master Distribution Center.
- **González, F. 2005.** Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.
- **Jerez Saso, R. 2005.** Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Propuesta de un programa de mantenimiento para los compresores de tornillo que usan amoniaco para refrigeracion.Guatemala.
- **Maldonado Villavicencio,H.2012.** Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del cantón Portovelo. Cuenca-Ecuador.
- **Muños Abella,B; Leganés. 2003.** Mantenimiento Industrial.
- **Nava Hernández, José. 2006.** Teoría de mantenimiento. Definiciones y organización. Caracas : Producciones editoriales C.A.
- **Navarrete, E. 1986.** Mantenimiento industrial. La Habana: ISBN 895-985-544.
- **Portuondo Pichardo, F.1983.** Economía de Empresas Industriales. Segunda Parte, La Habana,

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **Prando, R. 1996.** Manual de Gestión de Mantenimiento.
- **Riera Chavez;J. 2012.** Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Diseñp e implementacion de un sistema de mantenimiento asistido por computador para la empresa Cubiertas del Ecuador Kubiec S.A en la planta Esthela. Sangoloquí-Ecuador.
- **Sánchez Marín, F. 2007.** Mantenimiento mecánico de máquinas. ISBN 978-84-8021-629-6.
- **Seleme Peña, Y. 2015.** Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico. Modificación al sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboaereador 124 A de la planta lixiviación y lavado en la empresa Ernesto Che Guevara.
- **Tamaris Velez,M. 2014.** Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa MIRASOL .Cuenca-Ecuador.
- **Toapanta Cunalata, O.2009.** Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores reciprocantes y de tornillo. Riobamba-Ecuador.

Anexos

Anexo 1 Esquema del emplazamiento Fuel-Oíl de Moa



Anexo 2 de la tabla 2.3. Parámetros para el análisis de los Modos de Fallo.

Fecha: Año 2016	Descripción
Enero	
30-01-16	Puesta en marcha
Febrero	
02-02-16	Junta de sellado estropeada
08-02-16	Bajo nivel de aceite
18-02-16	Cambio de bornes en la conexión de alimentación
20-02-16	Filtros de aire sucios
21-02-16	Bajo nivel de aceite, rellenar aceite
30-02-16	La presión en la válvula de seguridad de la primera etapa es de 4bar
Marzo	
11-03-16	Salidero de aire a la salida
18-03-16	Presión insuficiente en la descarga
28-03-16	Bajo nivel de aceite, rellenar aceite.
30-03-16	Válvulas de seguridad sucias
31-03-16	Junta de sellado estropeada
Abril	
15-04-16	Consumo excesivo de aceite
20-04-16	Junta de sellado estropeada
28-04-16	Nivel excesivo de aceite
30-04-16	Cambiar las juntas de sellado
Mayo	
05-05-16	Aletas de refrigeración sucias
20-05-16	Presión insuficiente el compresor no descarga los 30bar que debe descargar
31-05-16	El compresor se calienta
Junio	
02-06-16	Rellenar aceite
20-06-16	Manguera de aceite partida
21-06-16	Revisión
Julio	
25-07-16	Aletas de refrigeración sucias

25-07-16	Nivel excesivo de aceite
Agosto	
23-08-16	Válvula de auto drenaje no funciona
24-08-16	Revisión
Septiembre	
15-09-16	Salidero de aire por la válvula de sobrepresión
15-09-16	Válvula deteriorada
28-09-16	Avería
Octubre	
21-10-16	Salidero de aire
21-10-16	Presión de descarga insuficiente
Noviembre	
22-11-16	Fuga de aire
22-11-16	Junta de sellado estropeada
Diciembre	
01-12-16	Cambio de la junta de sellado
26-12-16	Ruido anómalo
26-12-16	Anillo de pistón de la primera etapa desgastado
Año 2017	Descripción
Enero	
21-01-17	Bajo nivel de aceite, rellenar aceite
Febrero	
08-02-17	Relleno de aceite
19-02-17	Salidero de aire por la válvula de seguridad de la tercera etapa
28-02-17	Piezas desgastadas
Marzo	
03-03-17	Salidero de aire por la válvula de seguridad de la primera etapa
07-03-17	Está trabajando a altas temperaturas
16-03-17	Bajo nivel de aceite
29-03-17	Perdida en el tubo de descarga
Abril	
04-04-17	El compresor se calienta
Mayo	
10-05-17	Placa de válvulas estropeadas, se han formado partículas de suciedad
23-05-17	Fugas de aire
Junio	
01-06-17	Bajo nivel de aceite
Julio	
13-07-17	Retirar drenaje para hacerlo manual
26-07-17	Vota el agua por el drenaje, la válvula no cierra, se queda calzada y vota el agua por el drenaje
Agosto	

01-08-17	Relleno de aceite
20-08-17	Exceso de aceite en la descarga
21-08-17	Exceso de agua en la descarga
Septiembre	
10-09-17	El compresor se calienta
23-09-17	Perdida en el tubo de descarga
24-09-17	Filtro de aire sucio
24-09-17	Limpieza de trampa de condensado
Octubre	
09-10-17	Sobrecalentamiento del pistón derecho
26-10-17	No levanta a mas de 10bar
Noviembre	
02-11-17	El aire que está en el tanque se vota por el drenaje al apagarse
20-11-17	Suelta humo por el cilindro
21-11-17	Salidero de aire
25-11-17	Avería
Diciembre	
15-12-17	Bajo nivel de aceite
30-12-17	Exceso de aceite en la descarga
30-12-17	Anillos del pistón de la segunda etapa desgastados
Año 2018	Descripción
Enero	
22-01-18	Salidero de aire
23-01-18	El compresor trabaja a altas temperaturas
Febrero	
03-02-18	Exceso de agua y aceite en la descarga
04-02-18	Filtro de aire obstruido
10-02-18	Respiradero sucio
Marzo	
01-03-18	Consumo excesivo de aceite
02-03-18	Aletas de refrigeración sucias
04-03-18	Bajo nivel de aceite
Abril	
10-04-18	Corto circuito en breacker
20-04-18	Salidero de aire
24-04-18	Alta temperatura en la culata
Mayo	
01-05-18	Bajo nivel de aceite
18-05-18	Se dispara la alarma
Abril	
01-06-18	Dispara por alta temperatura
10-06-18	Avería

Anexo 3 de la tabla 2.5 Guía de Criticidad

Frecuencia de falla (todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 8 por año	3
Entre 9 y 40 por año	4
Más de 41 por año (Más de 1 interrupción semanal)	6
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Puntaje
Menos de 3 horas	1
Entre 4 y 6 horas	2
Entre 7 y 20 horas	4
Más de 20 horas	6
Impacto en Producción (por falla)	Puntaje
No afecta Producción	1
25% de Impacto	1.3
50% de Impacto	1.5
75% de Impacto	1.8
La Impacta Totalmente	2
Coste de reparación	Puntaje
Menos de 1000 USD	5
Entre 1000 y 5000 USD	7
Entre 5100 y 10 000 USD	12
Más de 10 000 USD	20
Impacto en la Seguridad Personal	Puntaje
SI	30
NO	0
Impacto Ambiental (Daños a terceros, fuera de la instalación)	Puntaje
SI	20
NO	0