

OPTIMIZACIÓN AL MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE
LA EMPRESA SURPETROIL S.A.S.

CAMILO ANDRÉS GASCA BARRIOS
CESAR HERNANDO VELOZA ACOSTA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.016

OPTIMIZACIÓN AL MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE
LA EMPRESA SURPETROIL S.A.S.

CAMILO ANDRÉS GASCA BARRIOS
CESAR HERNANDO VELOZA ACOSTA

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.016

Nota de aceptación:

Presidente del jurado
Ing. Álvaro Romero Suárez

Jurado 1
Ing. Francisco Campos

Jurado 2
Ing. Gabriel Rivera

Bogotá D.C. Junio 30 de 2.016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento

Este trabajo de grado está dedicado a nuestras familias, en especial a nuestros padres por el apoyo que nos brindaron y por los consejos que nos dieron a lo largo del desarrollo del proyecto.

A Dios, que nos llenó de sabiduría y fortaleza para afrontar las situaciones presentadas.

Primero agradecemos a Dios por poner todo en nuestras manos, darnos fuerza y fe para no darnos por vencidos

Gracias a nuestros padres quienes nos brindaron y sostuvieron con su apoyo durante todo este tiempo

Gracias a Surpetroil S.A.S por brindarnos apoyo técnico y financiero para la realización del proyecto

Gracias a nuestro asesor, el Ing. Álvaro Romero que nos guio con su conocimiento, paciencia y motivación

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| 1. GENERALIDADES | 22 |
| 1.1 PRESENTACIÓN | 22 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN PROCESO PRODUCTIVO | 23 |
| 1.2.1 Compresores para boca de pozo | 24 |
| 1.2.2 Sistemas de tratamiento de gas | 24 |
| 1.2.3 Estaciones de GNV (Gas natural vehicular) | 25 |
| 1.2.3.1 Compresor | 27 |
| 1.2.3.2 Surtidor | 30 |
| 1.2.4 Transporte | 31 |
| 1.2.5 Regulación de presión | 31 |
| 1.2.6 Generación eléctrica | 32 |
| 1.2.7 Transmisión eléctrica | 32 |
| 1.3 ORGANIGRAMA | 33 |
| 1.4 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | 34 |
| 1.4.1 Organigrama del área del mantenimiento | 34 |
| 1.4.1.1 Distribución mantenimiento Bogotá | 35 |
| 1.4.1.2 Distribución mantenimiento Medellín | 36 |
| 1.4.1.3 Distribución mantenimiento Cali | 37 |
| 1.4.1.4 Distribución mantenimiento Bucaramanga | 37 |
| 1.4.1.5 Distribución mantenimiento la costa | 38 |
| 1.4.1.6 Distribución mantenimiento otras ciudades | 38 |
| 1.4.2 Repuestos | 39 |
| 1.4.3 Software actual | 43 |
| 1.4.4 Procedimientos de mantenimiento | 44 |
| 2. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS | 46 |
| 2.1 CODIFICACIÓN COMPRESORES | 46 |
| 2.2 CODIFICACIÓN SURTIDORES | 53 |
| 3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 54 |
| 3.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS | 54 |
| 3.1.1 Frecuencia de falla | 54 |
| 3.1.2 Impacto operacional | 55 |
| 3.1.3 Flexibilidad operacional | 55 |
| 3.1.4 Costos de mantenimiento | 56 |
| 3.1.5 Impacto de seguridad | 56 |
| 3.2 MATRIZ DE CRITICIDAD | 57 |
| 3.3 ELABORACIÓN MATRIZ DE CRITICIDAD | 58 |
| 3.4 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL ANÁLISIS DE FALLA | 62 |

| | |
|---|-----|
| 4. ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA | 64 |
| 4.1 ANÁLISIS DE NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (RPN) | 64 |
| 4.2 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LAS FALLAS (RCFA) | 68 |
| 4.2.1 Análisis causa raíz de baja presión de aceite | 69 |
| 4.2.2 Análisis causa raíz de falla en regulador de presión de gas | 72 |
| 4.2.3 Análisis causa raíz de falla válvula de seguridad | 74 |
| 4.2.4 Análisis causa raíz daño de vástago | 76 |
| 4.2.5 Análisis causa raíz sobre carga en el eje del motor | 78 |
| 4.2.6 Análisis causa raíz problema del motor | 79 |
| 4.2.7 Análisis causa raíz daño por alta presión en surtidor | 81 |
| 5. NUEVOS FORMATOS DE MANTENIMIENTO | 83 |
| 5.1 FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS | 83 |
| 5.2 SOLICITUD DE TRABAJO | 85 |
| 5.3 ORDEN DE TRABAJO | 87 |
| 5.4 REPORTE DE TRABAJO | 89 |
| 5.5 HOJA DE VIDA DE EQUIPOS | 91 |
| 5.6 VARIABLES DE OPERACIÓN | 93 |
| 6. PROGRAMAS SISTEMÁTICOS | 94 |
| 6.1 PROGRAMA SISTEMÁTICO DE INSPECCIÓN | 96 |
| 6.1.1 Puntos claves de inspección | 97 |
| 6.1.2 Matriz de tiempos y balance de cargas de inspección | 102 |
| 6.1.3 Rutas de inspección | 105 |
| 6.2 PROGRAMA DE AJUSTE Y LIMPIEZA | 109 |
| 6.2.1 Puntos claves de ajuste y limpieza | 109 |
| 6.2.2 Matriz de tiempos y balance de cargas de ajuste y limpieza | 111 |
| 6.2.3 Rutas de ajuste y limpieza | 113 |
| 6.3 PROGRAMA SISTEMÁTICO DE LUBRICACIÓN | 118 |
| 6.3.1 Lubricación | 118 |
| 6.3.2 Esquema de lubricación de los compresores | 118 |
| 6.3.3 Puntos claves de lubricación | 120 |
| 6.3.4 Matriz de tiempos y balance de cargas de lubricación | 122 |
| 6.3.5 Rutas de lubricación | 123 |
| 6.3.6 Cartas de lubricación | 125 |
| 7. INDICADORES DE GESTIÓN | 128 |
| 7.1 DISPONIBILIDAD | 128 |
| 7.2 CONFIABILIDAD | 129 |
| 7.3 MANTENIBILIDAD | 129 |
| 7.4 CÁLCULO DE LOS INDICADORES | 129 |
| 8. ESTUDIO DE REPUESTOS | 134 |
| 8.1 REPUESTOS EN LA EMPRESA | 134 |
| 8.2 STOCK DE SEGURIDAD | 137 |

| | |
|--|-----|
| 8.3 ¿CUÁNTO PEDIR? | 140 |
| 8.4 ¿CUÁNDO PEDIR? | 143 |
| 9. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO | 145 |
| 9.1 ESTRATEGIAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO | 145 |
| 9.1.1 Capacitaciones | 145 |
| 9.1.2 Procedimiento de mantenimiento | 147 |
| 9.1.2.1 Mantenimientos programados por horas de operación | 147 |
| 9.1.2.2 Mantenimiento preventivo | 147 |
| 9.1.3 Manejo de equipos de inspección | 151 |
| 9.1.4 Indicadores | 151 |
| 9.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 152 |
| 10. EVALUACIÓN DE SOFTWARE | 155 |
| 10.1 BASE DE DATOS | 155 |
| 10.2 ALTERNATIVAS DE SOFTWARE DE MANTENIMIENTO | 155 |
| 10.2.1 Infom@nte | 156 |
| 10.2.1.1 Características generales del software | 156 |
| 10.2.1.2 Requerimientos técnicos del software | 157 |
| 10.2.1.3 Costos software | 157 |
| 10.2.2 SAMM (Sistema de Administración de Mantenimiento Moderno) | 157 |
| 10.2.2.1 Características generales del software | 158 |
| 10.2.2.2 Requerimientos técnicos del hardware y software | 158 |
| 10.2.2.3 Costos software | 159 |
| 10.2.3 INFOR EAM | 159 |
| 10.2.3.1 Características generales del software | 159 |
| 10.2.3.2 Requerimientos técnicos del hardware y software | 160 |
| 10.2.3.3 Costos software | 160 |
| 11. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO | 162 |
| 11.1 INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO | 162 |
| 11.2 COSTO HORA INDISPONIBILIDAD | 163 |
| 11.3 COSTO HORA TRANSPORTE | 164 |
| 11.4 COSTO INDISPONIBILIDAD | 154 |
| 12. CONCLUSIONES | 167 |
| 13. RECOMENDACIONES | 168 |
| BIBLIOGRAFÍA | 169 |
| ANEXOS | 171 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Clasificación de compresores | 47 |
| Cuadro 2. Codificación de compresores | 50 |
| Cuadro 3. Frecuencia de fallas | 55 |
| Cuadro 4. Impacto operacional | 55 |
| Cuadro 5. Flexibilidad operacional | 56 |
| Cuadro 6. Costos de mantenimiento | 56 |
| Cuadro 7. Impacto de seguridad, ambiente e higiene | 57 |
| Cuadro 8. Matriz de criticidad compresores de las EDS de Bogotá | 60 |
| Cuadro 9. Matriz de criticidad surtidores EDS Salitre y Muzu | 61 |
| Cuadro 10. Equipos seleccionados para análisis de falla | 63 |
| Cuadro 11. Número de prioridad de riesgo | 64 |
| Cuadro 12. Análisis RPN | 66 |
| Cuadro 13. Codificación subsistemas | 97 |
| Cuadro 14. Puntos claves de inspección compresor de Kennedy | 99 |
| Cuadro 15. Puntos clave de inspección en surtidores de Kennedy | 101 |
| Cuadro 16. Distribución de tiempos por EDS | 103 |
| Cuadro 17. Distribución en un mes | 103 |
| Cuadro 18. Matriz de tiempos de inspección | 104 |
| Cuadro 19. Balance de cargas de inspección | 105 |
| Cuadro 20. Ruta de inspección N°1 | 106 |
| Cuadro 21. Puntos claves de inspección y limpieza compresor | 110 |
| Cuadro 22. Puntos claves de inspección y limpieza surtidor | 110 |
| Cuadro 23. Distribución de tiempos de ajuste y limpieza por EDS | 111 |
| Cuadro 24. Distribución de tiempos y limpieza en un mes | 111 |
| Cuadro 25. Matriz de tiempos de ajuste y limpieza | 112 |
| Cuadro 26. Balance de cargas de ajuste y limpieza | 113 |
| Cuadro 27. Ruta de ajuste y limpieza N°1 | 110 |
| Cuadro 28. Puntos clave de lubricación | 121 |
| Cuadro 29. Matriz de lubricación | 122 |
| Cuadro 30. Balance de cargas de lubricación | 122 |
| Cuadro 31. Ruta de lubricación N°1 | 124 |
| Cuadro 32. Disponibilidad antes | 130 |
| Cuadro 33. Disponibilidad después | 130 |
| Cuadro 34. Confiabilidad antes | 131 |
| Cuadro 35. Confiabilidad después | 131 |
| Cuadro 36. Mantenibilidad antes | 132 |
| Cuadro 37. Mantenibilidad después | 132 |
| Cuadro 38. Repuestos de los equipos | 136 |
| Cuadro 39. Cálculo de stock mínimo y de seguridad | 139 |
| Cuadro 40. ¿Cuánto pedir? | 142 |
| Cuadro 41. ¿Cuándo pedir? | 144 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 42. Requerimientos técnicos infom@nte | 157 |
| Cuadro 43. Costos de software infom@nte | 157 |
| Cuadro 44. Requerimientos técnicos SAMM | 158 |
| Cuadro 45. Costos de software SAMM | 159 |
| Cuadro 46. Requerimientos técnicos INFOR | 160 |
| Cuadro 47. Costos de software INFOR | 160 |
| Cuadro 48. Costos inversión inicial | 162 |
| Cuadro 49. Alquiler equipos por hora | 164 |
| Cuadro 50. Indicadores antes y después | 165 |
| Cuadro 51. Costos de indisponibilidad | 166 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Secuencia de evento baja presión de aceite | 69 |
| Tabla 2. Secuencia de eventos falla en regulador de presión de gas | 73 |
| Tabla 3. Secuencia de eventos falla válvula de seguridad | 74 |
| Tabla 4. Secuencia de eventos daño de vástago | 75 |
| Tabla 5. Secuencia de eventos sobre carga en el eje del motor | 78 |
| Tabla 6. Secuencia de eventos problema del motor | 80 |
| Tabla 7. Secuencia de eventos daño por alta presión en surtidor | 81 |
| Tabla 8. Programa de implementación del plan de mantenimiento | 153 |

LISTA DE GRAFICAS

| | pág. |
|---|------|
| Gráfica 1. Jerarquización compresores | 62 |
| Gráfica 2. Compresores críticos | 63 |
| Gráfica 3. Comparación de la disponibilidad | 130 |
| Gráfica 4. Comparación de la confiabilidad | 131 |
| Gráfica 5. Comparación de la mantenibilidad | 133 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura 1. Compresor anular | 24 |
| Figura 2. Sistema tratamiento del gas natural | 25 |
| Figura 3. Red de distribución de una estación de gas natural vehicular | 26 |
| Figura 4. Componentes internos de la unidad de compresión | 28 |
| Figura 5. Tablero de potencia de un compresor de GNC | 29 |
| Figura 6. Estructura organizacional de la empresa Surpetroil SAS | 33 |
| Figura 7. Estructura organizacional del área de mantenimiento | 34 |
| Figura 8. Distribución mantenimiento Bogotá | 35 |
| Figura 9. Distribución mantenimiento Medellín | 37 |
| Figura 10. Distribución mantenimiento Cali | 37 |
| Figura 11. Distribución mantenimiento Bucaramanga | 38 |
| Figura 12. Distribución mantenimiento la costa | 38 |
| Figura 13. Distribución mantenimiento otras ciudades | 39 |
| Figura 14. Proceso de compras | 39 |
| Figura 15. Procedimiento de un mantenimiento correctivo | 44 |
| Figura 16. Configuración de surtidores | 53 |
| Figura 17. Modelo de jerarquización | 57 |
| Figura 18. Modelo calificación | 58 |
| Figura 19. Árbol lógico en el RCFA | 69 |
| Figura 20. Árbol lógico RCA para baja presión de aceite | 71 |
| Figura 21. Bomba de aceite lubricante | 72 |
| Figura 22. Árbol lógico RCA para falla en regulador de presión de gas | 73 |
| Figura 23. Plano regulador RP05 | 74 |
| Figura 24. Árbol lógico RCA para falla válvula de seguridad | 75 |
| Figura 25. Partes de la válvula de seguridad | 75 |
| Figura 26. Árbol lógico RCA para daño del vástago | 76 |
| Figura 27. Sistema de compresor equipo Nanobox | 77 |
| Figura 28. Árbol lógico RCA para sobre carga en el eje del motor | 78 |
| Figura 29. Despiece Motor principal de compresor Microbox | 79 |
| Figura 30. Árbol lógico RCA para problemas del motor | 80 |
| Figura 31. Árbol lógico RCA para daño por alta presión en surtidor | 81 |
| Figura 32. Ficha técnica equipos por estación de servicio | 83 |
| Figura 33. Ejemplo solicitud de trabajo | 86 |
| Figura 34. Ejemplo orden de trabajo | 88 |
| Figura 35. Ejemplo reporte de trabajo | 90 |
| Figura 36. Ejemplo de hoja de vida de EDS | 92 |
| Figura 37. Formato rutinas de inspección | 94 |
| Figura 38. Esquema de circuito de aceite de los compresores | 119 |
| Figura 39. Carta de lubricación de compresor Microbox | 125 |
| Figura 40. Carta de lubricación de compresor Nanobox | 126 |
| Figura 41. Esquema de niveles para stock de seguridad | 137 |

LISTA DE FOTOS

| | pág. |
|--|------|
| Foto 1. Surtidor de gas natural comprimido | 30 |
| Foto 2. Gasoducto virtual | 31 |
| Foto 3. Unidad descompresora de gas PRP | 31 |
| Foto 4. Capacitaciones | 146 |
| Foto 5. Control de asistencia capacitaciones | 146 |
| Foto 6. Presentación de software | 161 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Actividades de mantenimiento de Surpetroil SAS | 171 |
| Anexo B. Reportes de mantenimiento | |
| Anexo C. Análisis de criticidad de equipos | |
| Anexo D. Formatos de mantenimiento | |
| Anexo E. Puntos clave de inspección | |
| Anexo F. Rutas de inspección | |
| Anexo G. Puntos clave de ajuste y limpieza | |
| Anexo H. Rutas de ajuste y limpieza | |
| Anexo I. Puntos clave de lubricación | |
| Anexo J. Rutas de lubricación | |
| Anexo K. Repuestos | |
| Anexo L. Cotización software infom@nte | |
| Anexo M. Cotización software SAMM | |
| Anexo N. Cotización software Infor | |
| Anexo O. Propuesta software de mantenimiento | |

RESUMEN

Para la optimización del mantenimiento en la empresa Surpetroil SAS se conoció el funcionamiento de la empresa, sus inicios, sus servicios y equipos actuales. Se diagnosticó la situación actual de mantenimiento, se analizaron los cronogramas de mantenimiento, hojas de vida de los equipos, rutinas de inspección y calibración, servicio de mantenimiento, para analizar toda esta información y tener una idea clara de cómo se realiza el mantenimiento.

Con los reportes de mantenimiento se procedió a hacer un análisis de los tipos de falla y a evaluar la criticidad de los compresores y surtidores, equipos encontrados en las estaciones de servicio de gas vehicular, para luego realizar un análisis riguroso de la causa raíz de las fallas más frecuentes, catastróficas y críticas presentadas.

La información obtenida fue la base para realizar nuevos formatos básicos de mantenimiento; ficha técnica, solicitud de trabajo, orden de trabajo y hoja de vida. De igual manera se replantearon los programas sistemáticos de inspección, de lubricación, de ajuste y limpieza. Además, se creó un programa de implementación del plan de mantenimiento por un periodo de 3 meses.

Teniendo la información se organizó una base de datos, luego se realizó un análisis de software de mantenimiento, y por último se hizo la evaluación financiera del proyecto.

PALABRAS CLAVES: Optimización, mantenimiento, estaciones de servicio de GNV

INTRODUCCIÓN

La empresa Surpetroil S.A.S., es líder a nivel nacional en montaje y mantenimiento de equipos compresores de gas natural vehicular, para estaciones de servicio de abastecimiento de este combustible. Actualmente, en Colombia, la empresa tiene 77 compresores de diferentes modelos y series. Surpetroil S.A.S. cuenta con directrices de mantenimiento preventivo, otorgado por las empresas proveedora de los compresores (Galileo, Ariel, Aspro y Agira).

Surpetroil S.A.S. no cuenta con un plan de mantenimiento predictivo, ni con un análisis de la causa raíz de las fallas, lo cual lleva a presentar muchos mantenimientos correctivos. Actualmente, la empresa está perdiendo operatividad debido a las paradas no programadas que se les realizan a estos equipos por mantenimiento correctivo, por esta razón es importante realizar una optimización al mantenimiento basado en un análisis causa raíz de las fallas.

La realización del proyecto es importante porque se espera un aumento en la productividad técnica, menos repetitividad en las fallas de los equipos y tener elementos de juicio para exigir mejores repuestos a los proveedores. El proyecto generará un aumento en la operatividad de los equipos y un mejor balance económico. Además de una mayor confiabilidad por parte de los clientes.

El origen de la realización del documento es la optimización al mantenimiento de las estaciones de servicio de la empresa Surpetroil SAS, basándose en un análisis causa raíz de las fallas.

La realización de este proyecto tiene como *objetivo* general: “Optimizar el mantenimiento de las estaciones de servicio de la empresa Surpetroil S.A.S.” Con el fin de desarrollar los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Realizar un diagnóstico del sistema actual del mantenimiento
- ✓ Elaborar el listado general de los equipos y establecer un sistema de codificación
- ✓ Diagnosticar tipos de fallas y evaluar criticidad de las estaciones de servicio
- ✓ Realizar análisis de la causa raíz de las fallas más frecuentes, catastróficas y críticas para los equipos
- ✓ Diseñar nuevos formatos básicos de mantenimiento; ficha técnica, solicitud de trabajo, orden de trabajo y hoja de vida
- ✓ Replantear los programas sistemáticos de inspección, de lubricación, de ajuste y limpieza

- ✓ Realizar un análisis de indicadores (mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad) con las estadísticas de las fallas presentadas
- ✓ Realizar un estudio de repuestos
- ✓ Elaborar programa de estrategias y cronograma del plan de mantenimiento
- ✓ Realizar una base de datos y un estudio de software de mantenimiento
- ✓ Realizar evaluación financiera del proyecto

Dentro de las limitaciones del proyecto esta realizar el análisis a las fallas de las 76 EDS (estaciones de servicio), las cuales actualmente la empresa Surpetroil S.A.S. presta servicio de mantenimiento a nivel nacional, estas estaciones involucran principalmente equipos de compresión y surtidores de GNV (gas natural vehicular), se analizaron los reportes de falla registrados desde septiembre del 2014 hasta marzo del 2015 (6 meses), se presentaron alrededor de 150 reportes mensuales. Además, se contaron con los testimonios de los técnicos de mantenimiento de la empresa Surpetroil S.A.S. para la veracidad de la información.

La metodología se basó inicialmente en recolectar la mayor cantidad de información sobre el mantenimiento de la empresa para luego realizar un análisis de la causa raíz de las fallas, esto ayudó a determinar cuál es la causa real de la misma. El análisis se ejecutó cubriendo todos los posibles causantes de la falla, desde el distribuidor de repuestos hasta los técnicos que realizan el mantenimiento. Se analizaron las fallas más frecuentes, catastróficas y críticas dentro de un periodo de 6 meses. Lo anterior permitió un aumento en la productividad técnica, menos repetitividad en las fallas de los equipos y tener elementos de juicio para exigir mejores repuestos a los proveedores.

También se analizaron indicadores como el TPPR (tiempo promedio para reparar), el TPEF (tiempo promedio entre falla) y el TPPF (tiempo promedio para fallar) entre otros KPIS (indicadores de eficiencia para el mantenimiento).

Todo lo anterior permitió hacer una optimización al plan de mantenimiento que actualmente ejecuta la empresa y con esto disminuir los mantenimientos correctivos.

La aplicación de este proyecto, está enfocada principalmente en el área de mantenimiento de la empresa Surpetroil SAS, con la puesta en marcha de esta se optimizó el mantenimiento.

1. GENERALIDADES

En este capítulo se muestran aspectos organizacionales de la empresa y se realiza un análisis de cómo es el sistema actual de mantenimiento

1.1 PRESENTACIÓN

La empresa Surpetroil SAS fue creada en octubre de 1.996, es la empresa líder en el montaje y mantenimiento de estaciones de servicio para el abastecimiento de gas natural vehicular. Con 76 estaciones de servicio montadas, corresponde aproximadamente el 60% de las EDS a nivel nacional y con servicio de mantenimiento que se fortalece con la venta de productos de la más alta calidad. La excelente calidad de SURPETROIL S.A.S., se fundamenta en la adquisición de las mejores materias primas, la selección de personal altamente calificado y poseer una tecnología de vanguardia para el desarrollo técnico, logístico y administrativo; enfocados a la prestación de un servicio óptimo, eficaz y productivo.

Surpetroil S.A.S., es una empresa especializada en el manejo de gas natural. Cuenta con conocimiento y experiencia en el desarrollo de proyectos de obras civiles, eléctricas y mecánicas, importación y suministros de equipos de representación exclusiva de las tecnologías, certificación de normativa, mantenimiento y posventa.

El éxito en el respaldo de las inversiones lo fundamenta en los más altos estándares de HSEQ.¹

Sistema integral de gestión. Surpetroil S.A.S, considera que minimizar las pérdidas es tan provechoso como maximizar las utilidades, es por ello que se comprometen a (lo siguiente se ha escrito textualmente):

- ✓ Pensar en la seguridad y la salud de las personas, la protección socio ambiental, la calidad de los productos y servicios, el 100% del tiempo para el 100% de las decisiones
- ✓ Implementar y mantener altos estándares, brindando los recursos *humanos, locativos, técnicos y financieros* necesarios; aplicando las medidas de control para prevenir y/o mitigar los impactos negativos, garantizando el cumplimiento de los requisitos legales y de los clientes, los propios de la organización, así como los de otra índole suscritos y aplicables en HSEQ y RS

Promover:

¹ SURPETROIL SAS. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas] 2014

- ✓ Calidad de vida laboral, previniendo enfermedades ocupacionales y accidentes de trabajo
- ✓ El cuidado del ambiente, el respeto por las comunidades y la propiedad de terceros, previniendo la contaminación, garantizando el consumo responsable de los recursos naturales, asegurando la disposición adecuada de residuos, y mitigando los impactos socio ambientales significativos derivados de nuestras operaciones
- ✓ La cultura de servicio, escuchando, atendiendo, tramitando y estudiando las comunicaciones, peticiones, quejas y reclamos de nuestros clientes internos y externos, así como de las partes interesadas o afectadas, con el fin de detectar causas y oportunidades de mejora
- ✓ Las actividades de responsabilidad social con los grupos de interés
- ✓ Mejorar continuamente, a través de la gestión eficaz de las acciones encaminadas a eliminar las causas de no conformidades reales o potenciales

Objetivos Integrales de Gestión:

- ✓ Garantizar que el personal sea capacitado y entrenado íntegramente en el área de trabajo que va a desarrollar y en temas del SIG
- ✓ Minimizar las causas de los productos no conformes, de los riesgos e Impactos derivados de las tareas críticas que nos generan quejas, reclamos, actos y condiciones subestándar
- ✓ Garantizar que los productos y la prestación del servicio cumpla con los estándares del SIG
- ✓ Promover el mejoramiento continuo del Sistema Integral de Gestión y la satisfacción de las Partes Interesadas

1.2 DESCRIPCIÓN PROCESO PRODUCTIVO

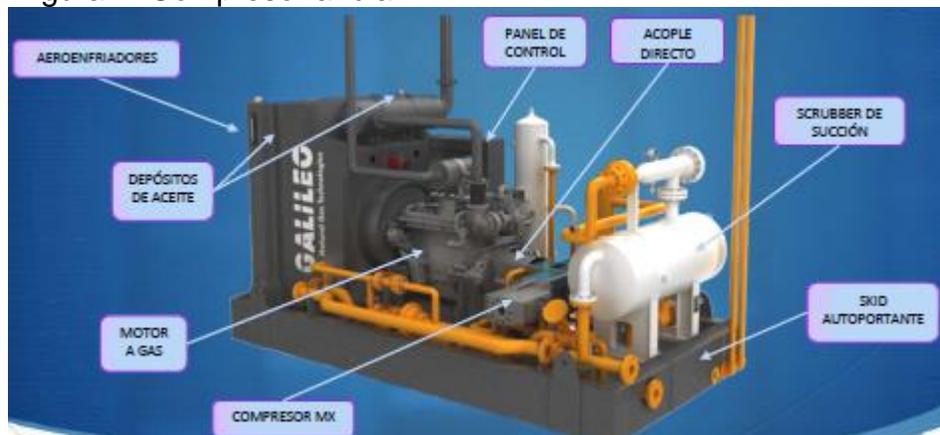
La empresa Surpetroil S.A.S. presta todos los servicios que requiere el gas natural para ser convertido en energía eléctrica, desde su extracción en cabeza de pozo hasta la transmisión de la energía eléctrica. Los servicios que presta son los siguientes:

- ✓ Compresores para boca de pozo
- ✓ Sistemas de tratamiento de gas

- ✓ Estaciones de GNV (Gas natural vehicular)
- ✓ Transporte-Gasoductos virtuales
- ✓ Regulación de presión-Descompresoras
- ✓ Generación eléctrica
- ✓ Trasmisión eléctrica

1.2.1 Compresores para boca de pozo. Estos compresores tienen aplicación en los anulares de la boca de pozo, lo cual permite una eficiente producción de crudo y gas asociado a bajas presiones de pozo. La función de estos compresores es el aumento de presión para transportar el gas natural. Cuentan con un sistema de separación con purga automática que permite separa líquidos y sólidos antes del ingreso al sistema de compresión.

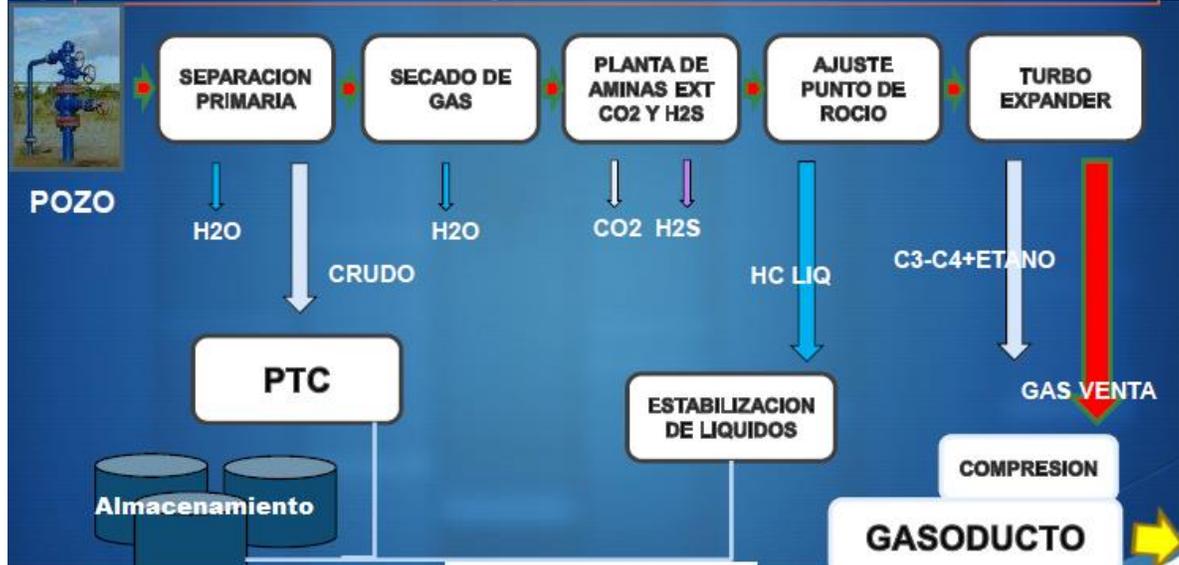
Figura 1. Compresor anular



Fuente: SURPETROIL SAS. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas]. 2014

1.2.2 Sistemas de tratamiento de gas. Este servicio consiste en separar gases que contiene el gas natural, como lo son el CO₂, H₂S y He. Ya que son gases que no son de interés. El proceso se realiza como lo muestra la siguiente figura:

Figura 2. Sistema tratamiento del gas natural



Fuente: SURPETROIL SAS. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas]. 2014

Para la realización del sistema del tratamiento del gas natural se utilizan los siguientes equipos: separadores bifásicos-trifásicos oil & gas; filtros separadores; calentadores; secado de gas-plantas TEG; control de punto de rocío del gas; remoción de H₂S y CO₂; sistemas de emergencia, trampas de marranos, Skid de regulación de presión; Skid y sistemas de medición oil & gas.

1.2.3 Estaciones de GNV (Gas natural vehicular). Surpetroil S.A.S ha importado desde 1.998 compresores para estaciones vehiculares, con altos niveles de seguridad que permiten ser instalados en zonas residenciales abarcando las menores áreas posibles. Actualmente presta mantenimiento a alrededor de 80 estaciones en todo el país con las principales compañías del sector.

Las estaciones de gas natural vehicular se encargan de recibir el gas de la red de distribución nacional o de módulos de almacenamiento, este último aplica cuando no se tiene una red de distribución cerca. El gas se recibe a una presión máxima de 16 bares y la unidad de compresión se encarga de aumentarla a 250 bares. Por último el gas llega a los surtidores, con los cuales se procede a proveer de gas natural a los automóviles a una presión de 200 bares, como lo dice la norma. La siguiente figura muestra la red de distribución de una estación de gas natural vehicular.

Figura 3. Red de distribución de una estación de gas natural vehicular



Fuente: OSINERGIM. Organismo Superior De La Inversión En Energía y Minería. Seguridad en la comercialización de GNV y GNC. Agosto 2012 [en línea] <<http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/SeguridadcomercializacionGNVGNC.pdf>> [citado en 15 de septiembre de 2015]

- ✓ Red de distribución (1)
- ✓ Tubería de conexión (2)
- ✓ Válvula de servicio (3)
- ✓ Accesorio de ingreso a la acometida (4)
- ✓ Estación de medición o filtración (5)
- ✓ Recinto de EFM (6)
- ✓ Tubería de baja presión (7)
- ✓ Compresor (8)
- ✓ Tanques de almacenamiento (9)

- ✓ Bunker (10)
- ✓ Tubería de alta presión (11)
- ✓ Surtidores (12)
- ✓ Tablero de control (13)
- ✓ Subestación eléctrica (14)

1.2.3.1 Compresor. Es el encargado de recibir el gas natural de la red de distribución nacional o de módulos de almacenamiento de gas, a una presión de 16 bares y elevarla a una presión de 250 bares.

Los compresores de Surpetroil S.A.S. comprimen el gas natural por medio de pistones, son fabricados por Galileo, Ariel o Aspro. Estos compresores varían en tamaño, capacidad de compresión, longitud de pistón, número de etapas, sistema de transmisión de potencia, entre otras características.

La unidad de compresión se divide así:

- ✓ Cabina de compresión
- ✓ Cabina motor
- ✓ Tableros electrónicos
- ✓ Puente de medición

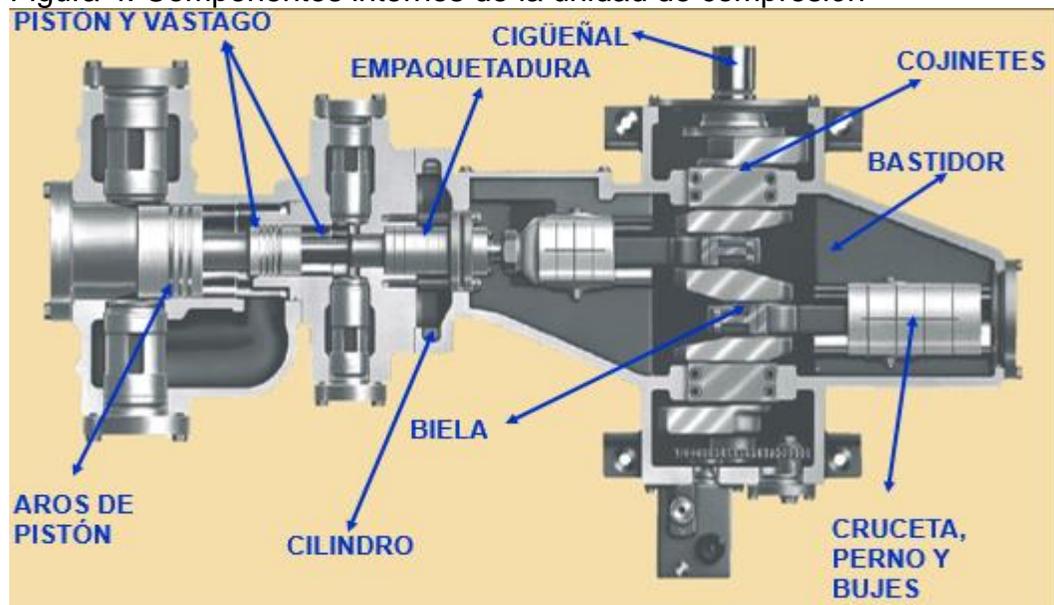
✚ Cabina de compresión. En la cabina de compresión el gas primero pasa por separadores de hidratos, luego ingresa a la primera etapa, la cual consiste en un pistón que comprime el gas y luego pasa por un intercambiador de calor, el cual enfría el gas luego de ser comprimido. Después pasa el gas a una segunda etapa que realiza el mismo procedimiento de la etapa anterior pero a presiones y temperaturas distintas. Este mismo ciclo se repite dependiendo al número de etapas que tenga el compresor, los compresores de Surpetroil S.A.S. varía entre 2 a 5 etapas, depende de la capacidad de compresión de las etapas. Además de lo anterior, entre cada etapa hay un separador de hidratos para asegurar que al automóvil no va ingresar líquidos.

Desde luego todo el proceso está acompañado de sistemas de control, actuadores, válvulas y sistema de lubricación. Como última parte en la cabina de compresión se encuentra el almacenamiento del gas comprimido antes de ser enviado a los surtidores. En resumen dentro de la cabina de compresión se encuentra;

- ✓ Sistema de Compresión
- ✓ Almacenamiento
- ✓ Intercambiadores de calor
- ✓ Panel prioritario
- ✓ Sistema de gas de control
- ✓ Bloque de electro válvulas
- ✓ Actuadores
- ✓ Separadores de hidratos
- ✓ Tanque de drenaje

En la siguiente figura se muestran los componentes internos de la unidad de compresión:

Figura 4. Componentes internos de la unidad de compresión



Fuente: Grupo Galileo. Presentación de Microbox. Natural Gas Technologies. 2005

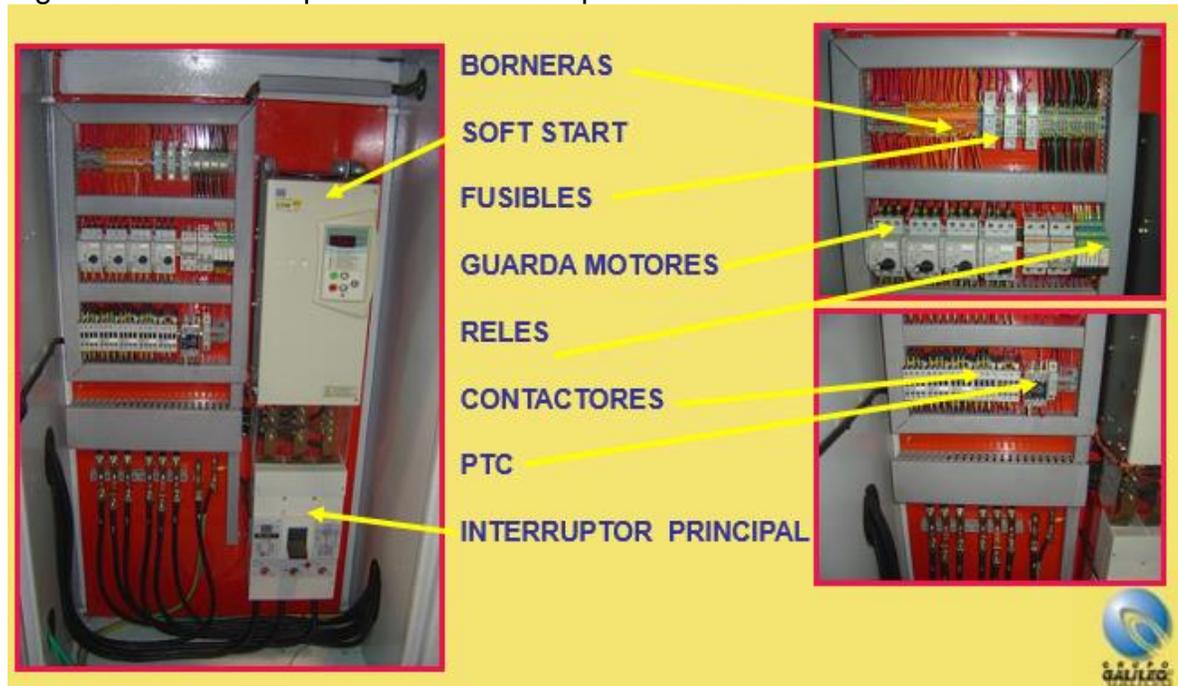
- ✚ Cabina Motor. La cabina del motor tiene los siguientes componentes:
 - ✓ Motor principal

- ✓ Bomba de pre lubricación
- ✓ Extintor de incendio
- ✓ Reservatorio de aceite
- ✓ Ventilador de presurización

El motor principal proporciona la fuerza motriz al compresor, más precisamente al cigüeñal que mueve los pistones, puede estar acoplado de forma directa o por medio de correa, depende al tipo de compresor. La bomba de pre lubricación proporciona presión de aceite al compresor en el momento previo del arranque. El extintor de incendio descarga su contenido en la cabina de compresión, se activa por medio de una electroválvula por el PLC.

✚ Tablero electrónico. El tablero electrónico está compuesto por: tablero de potencia, es el encargado de suministrar energía al equipo; tablero de PLC y señales, los cuales están programados por la empresa fabricante para resolver problemas de secuencia en la máquina.

Figura 5. Tablero de potencia de un compresor de GNC



Fuente: GRUPO GALILEO. Presentación de Microbox. Natural Gas Technologies. [Diapositivas]. 2005

✚ Puente de medición. El puente de medición es la parte que más le interesa al cliente o dueño de la estación de servicio, ya que es donde se sabe exactamente

cuánto gas natural se ha obtenido de la red de distribución. Además es la parte en donde más se presentan fallas. Los elementos que componen el puente de medición son:

- ✓ Filtro de entrada
- ✓ Válvula de retención
- ✓ Actuador de entrada
- ✓ Actuador de admisión
- ✓ Pulmón de entrada

El pulmón de entrada es el encargado de almacenar gas y de proporcionarlo a las partes de la unidad de compresión, como actuadores o el mismo sistema de compresión con el fin de que no trabaje en vacío y de esta manera no incurra en daños al equipo.

1.2.3.2 Surtidor. Son los equipos encargados de suministrar o abastecer de gas natural comprimido a los automóviles, entregan el gas a una presión promedio de 200 bar, este equipo trabaja con líneas de alta presión (250bar) y tensiones de alimentación lo cual implica riesgos a la vida humana, por esta razón se debe tener muy buenos elementos de seguridad. Todos los modelos de surtidores utilizan los mismos componentes o subconjunto.

Foto1. Surtidor de gas natural comprimido



1.2.4 Transporte. Surpetroil SAS presta el servicio de transporte de GNC (gas natural comprimido), este gas tiene una densidad y presión mayor, permitiendo mayor masa en menos volumen. Los equipos que transportan el gas son conocidos como gasoductos virtuales, los cuales son camiones que contienen módulos y estos a su vez contienen cilindros.

Foto 2. Gasoducto virtual



Fuente: SURPETROIL SAS. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas]. 2014

1.2.5 Regulación de presión. Las reguladoras de presión, descompresoras, son equipos encargados de disminuir y regular la presión del gas natural comprimido provenientes por lo general de gasoductos virtuales, esto con el fin de permitir su distribución y utilización en sistemas de gas combustible, motogeneradores y motores a gas. El principio de funcionamiento de estos equipos es aumentar la temperatura del gas por medio de intercambiadores de calor.

Foto 3. Unidad descompresora de Gas PRP



1.2.6 Generación eléctrica. En la generación eléctrica cuenta con un proveedor, Cetec, con el cual desarrollan proyectos para la generación eléctrica, utilizando el GLP (Gas licuado de petróleo) y el GNC (gas natural combustible) como combustibles. Se pone énfasis en campos donde el gas es venteado y quemado dando rentabilidad y aprovechamiento del mismo, al igual generando una contribución al medio ambiente.

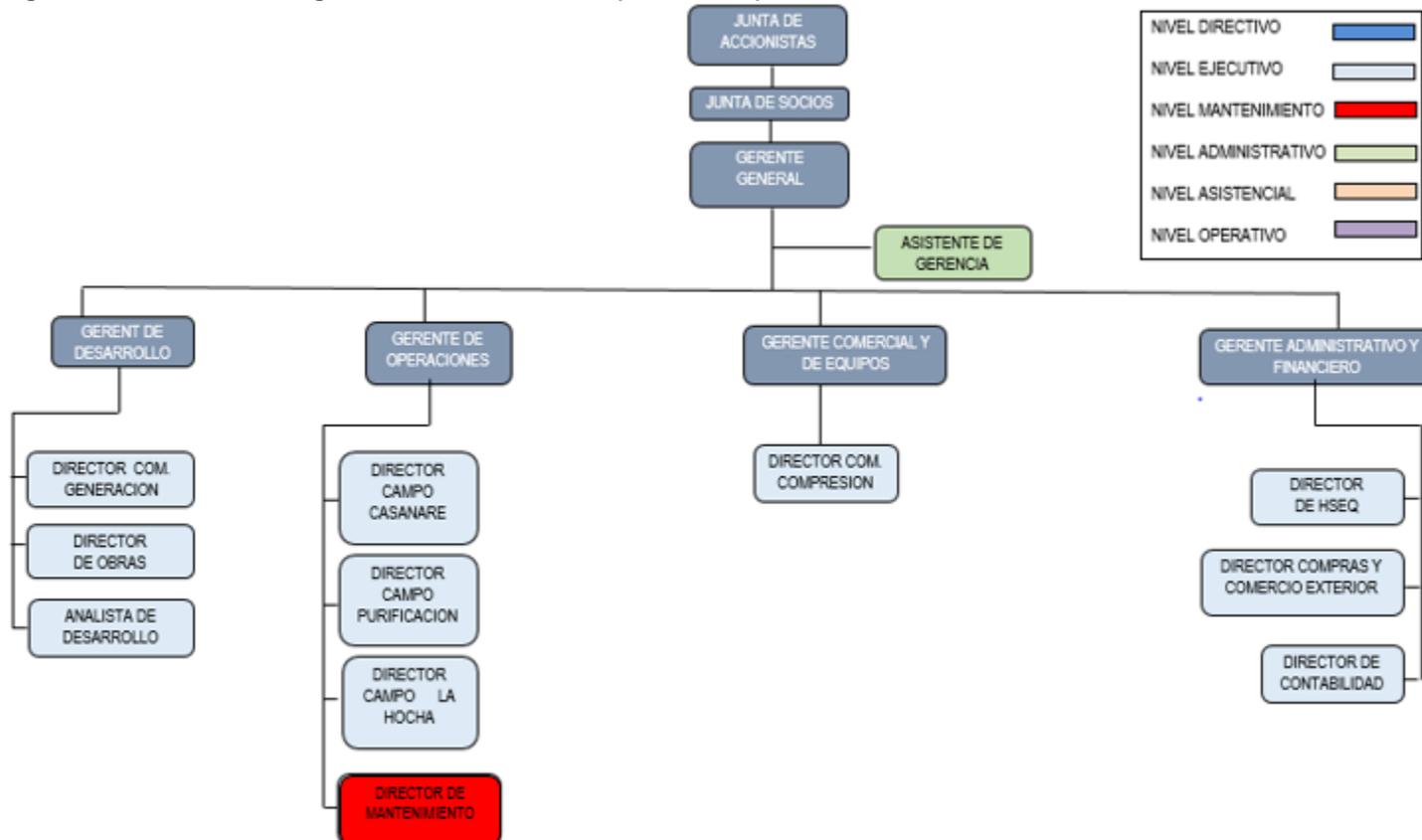
1.2.7 Transmisión eléctrica. Cuenta con el servicio de instalar redes de energía eléctrica, con el fin de poder ser transportada hasta puntos de consumo y a través de grandes distancias. Para esto es necesario que los niveles de energía eléctrica sean transformados, elevando el nivel de tensión.¹

¹ SURPETROIL SAS. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas] 2014

1.3 ORGANIGRAMA

A continuación se muestra el organigrama general administrativo de la empresa

Figura 6. Estructura organizacional de la empresa Surpetroil SAS

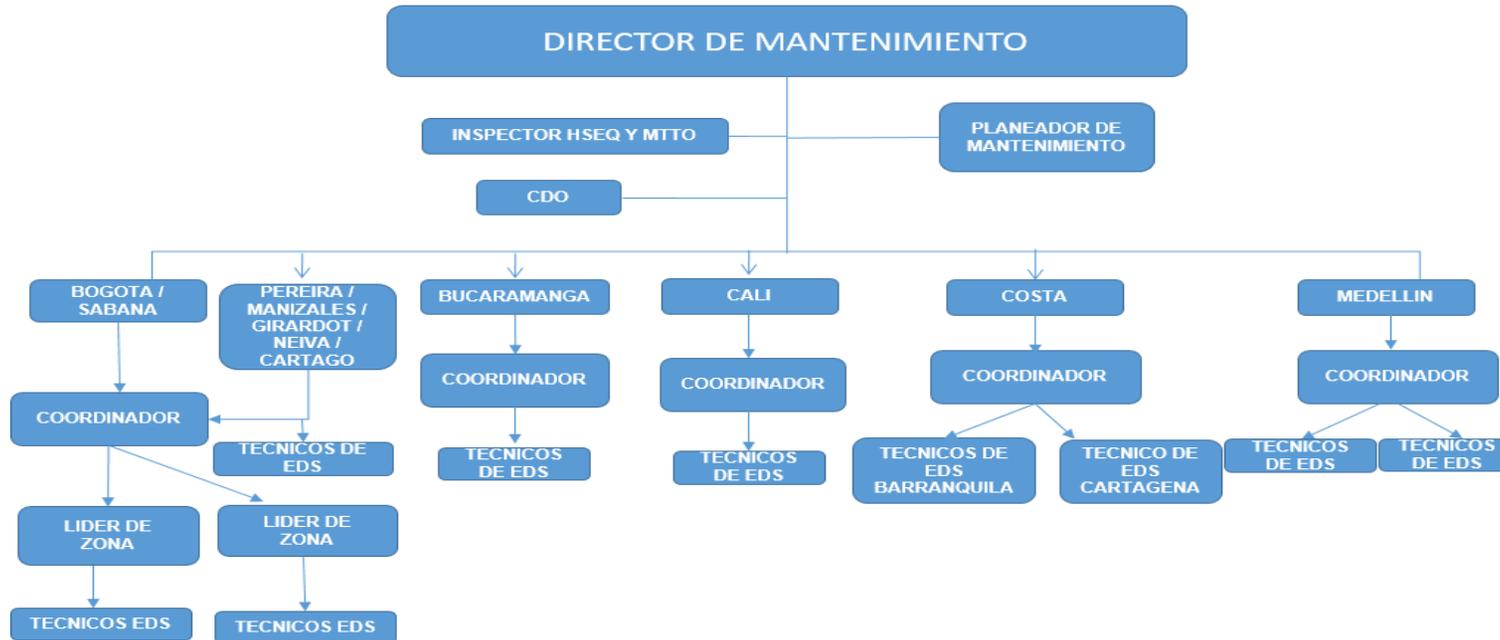


Fuente: SURPETROIL SAS. Organigrama General. [Diapositivas]. 2014

1.4. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

1.4.1 Organigrama del área de mantenimiento. El siguiente es el organigrama del área de mantenimiento:

Figura 7. Estructura organizacional del área de mantenimiento

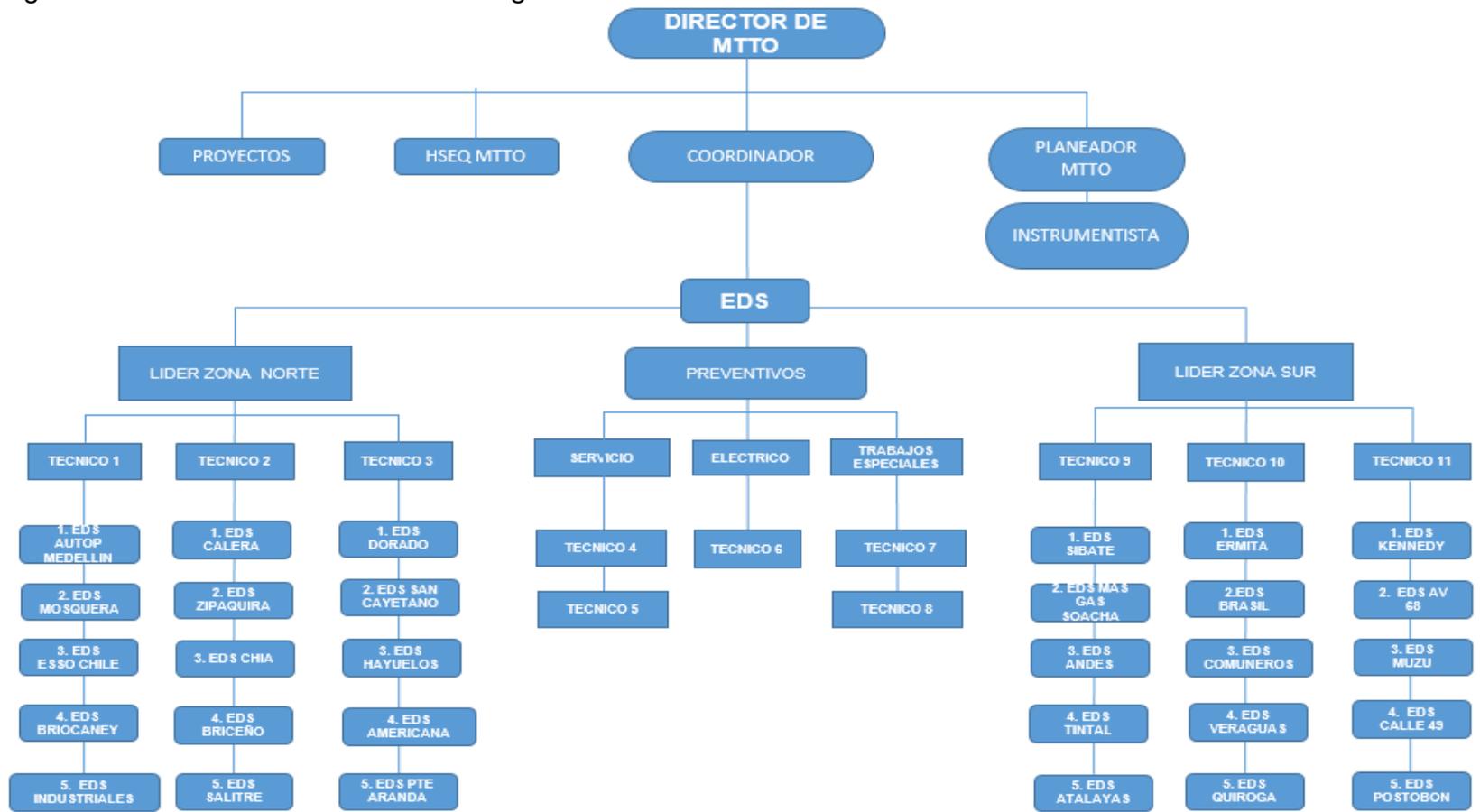


Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil. [Diapositivas]. 2015

Como se puede observar en la figura 7, el mantenimiento está sectorizado por zonas del país, esto con el fin de tener orden en la estructura de mantenimiento y de esta manera poder delegar responsabilidades tanto a los coordinadores como a los técnicos sobre las EDS (Estaciones de servicio). A continuación se mostrará la distribución de los técnicos y coordinadores.

1.4.1.1 Distribución Mantenimiento Bogotá. En la ciudad de Bogotá y sus alrededores es donde se encuentra el mayor número de estaciones, por esa razón es necesario hacer una distribución como se muestra en la figura 8

Figura 8. Distribución mantenimiento Bogotá



Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil. [Diapositivas]. 2015

Las funciones de los cargos del área de mantenimiento son los siguientes:

- ✓ Director de mantenimiento: planear, dirigir, hacer seguimiento a la ejecución y controlar la estrategia comercial y operativa del proceso de mantenimiento de acuerdo a los lineamientos del Sistema Integrado de Gestión y la normativa vigente
- ✓ Planeador de mantenimiento: Planear y analizar las actividades de mantenimiento, Sistemáticas, Programadas y urgentes, de la compañía por medio del sistema de gestión de activos (INFOMANTE), garantizando la disponibilidad de recursos para la ejecución de las actividades de mantenimiento y generando indicadores de control como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, que permiten tomar acciones correctivas para alcanzar al 100% la satisfacción del cliente
- ✓ CDO: Programar, organizar, diseñar y dirigir los servicios técnicos de los clientes, tanto en situaciones emergentes como previa programación de acuerdo con los procedimientos administrativos, obteniendo como resultado informes mensuales de mantenimiento.
- ✓ Coordinador de mantenimiento: Coordinar los recursos y supervisar la realización de los mantenimientos de acuerdo a las programaciones y procedimientos establecidos por la empresa, verificando las labores realizadas por los técnicos de mantenimiento
- ✓ Técnico aprendiz: Ejecutar actividades de apoyo para el desarrollo de las actividades mantenimiento, re manufacturación y ensamble de nuevos sistemas de almacenamiento de gas comprimido de acuerdo a las funciones asignadas y los procedimientos determinados por el área de taller
- ✓ Técnico de mantenimiento: Ejecutar los mantenimientos y rutinas a los equipos y máquinas de las Estaciones de Servicio de los clientes de acuerdo al proceso interno del área
- ✓ Técnico instrumentista: Planear, implementar y ejecutar el aseguramiento metrológico de los procesos de mantenimiento de acuerdo a las actividades de control, seguridad y normatividad 180928, instructivo y procedimientos empresariales, NTC 14023

1.4.1.2 Distribución Mantenimiento Medellín. Se divide en 3 sectores, los cuales le corresponden a cada uno un técnico.

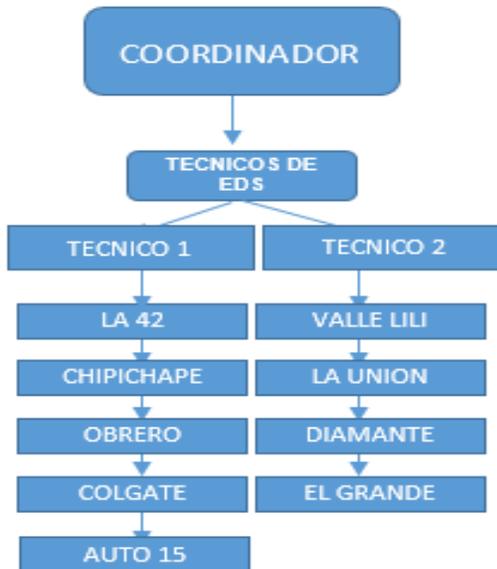
Figura 9. Distribución mantenimiento Medellín



Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil. [Diapositivas]. 2015

1.4.1.3 Distribución Mantenimiento Cali. Las estaciones de servicio se dividen en dos técnicos

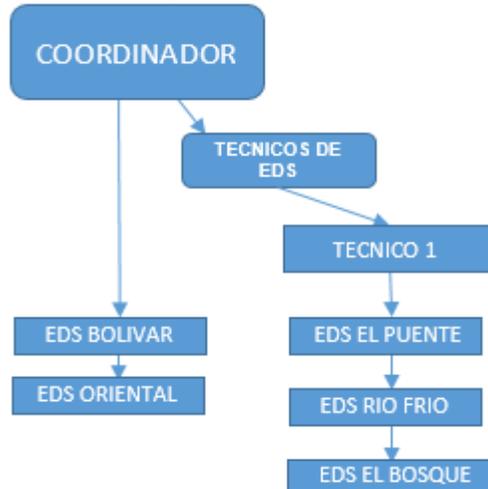
Figura 10. Distribución mantenimiento Cali



Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura organizacional de mantenimiento Surpetroil 2015

1.4.1.4 Distribución Mantenimiento Bucaramanga. Hay solo un técnico para esta zona pero se dividen la responsabilidad de las estaciones con el coordinador.

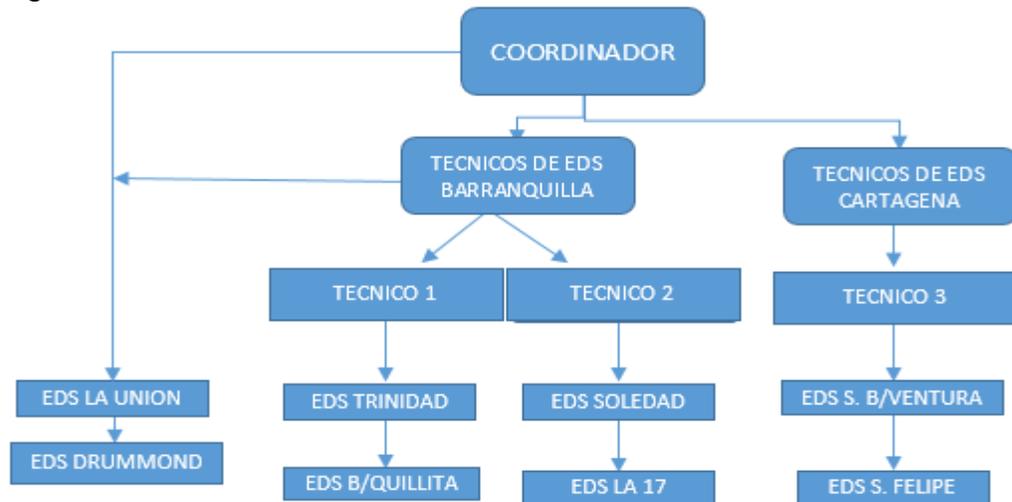
Figura 11. Distribución mantenimiento Bucaramanga



Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil 2015

1.4.1.5 Distribución Mantenimiento la Costa. Esta zona incluye las estaciones de servicio de dos ciudades costeras, las cuales son Barranquilla y Cartagena

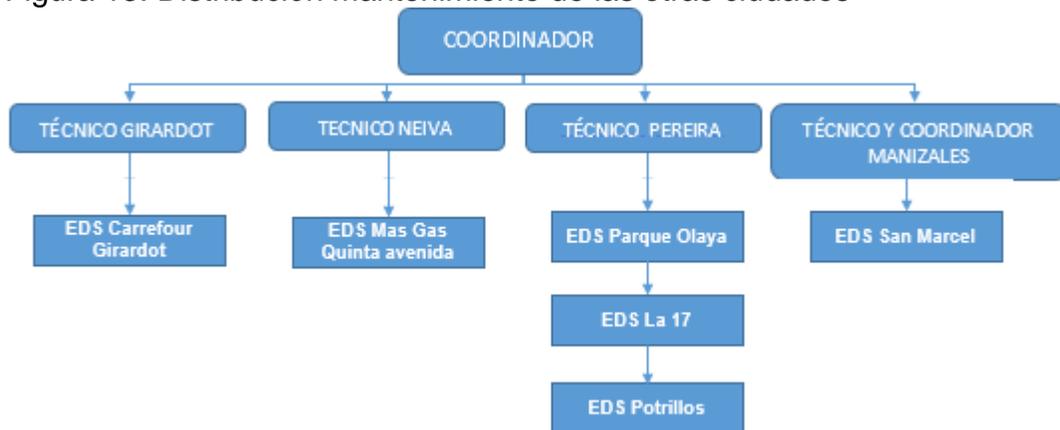
Figura 12. Distribución mantenimiento la Costa



Fuente: SURPETROIL SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil 2015

1.4.1.6 Distribución Mantenimiento otras Ciudades. Debido a que hay ciudades en donde se encuentran pocas estaciones de servicio, las cuales van de una a tres por ciudad, se procedió a agruparlas en una sola zona, la distribución es la siguiente:

Figura 13. Distribución mantenimiento de las otras ciudades



Fuente: Surpetroil SAS. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil 2015

1.4.2 Repuestos. En el momento de solicitar un repuesto, los técnicos acuden primero al almacén, donde se encuentra un Stock de los repuestos de uso más común, a nivel nacional existen dos Stocks, el principal ubicado en Bogotá y el segundo en Medellín, en caso que se necesite un repuesto en ciudades diferentes a las mencionadas, es necesario solicitarlo a Bogotá (Ver figura 14). Si el repuesto no se encuentra en Stock se acude a un fabricante nacional y en el caso que ningún fabricante nacional lo tenga se acude a importarlo directamente al fabricante del equipo.

En la figura 14 se muestra el diagrama del proceso de compras en la empresa, este mismo proceso se cumple en todas las áreas, incluyendo mantenimiento.

Figura 14. Proceso de compras

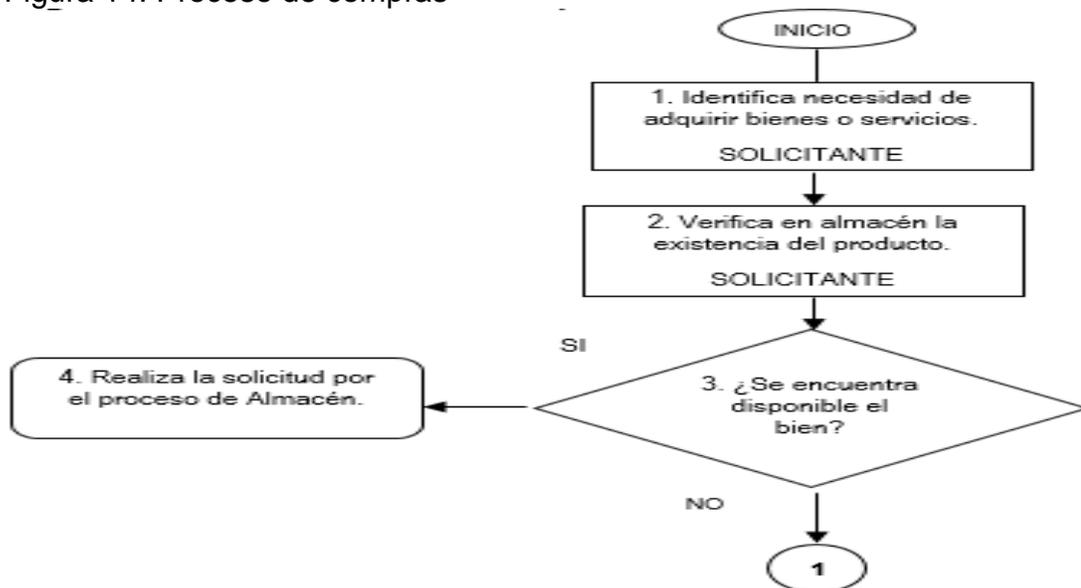


Figura 14. (Continuación)

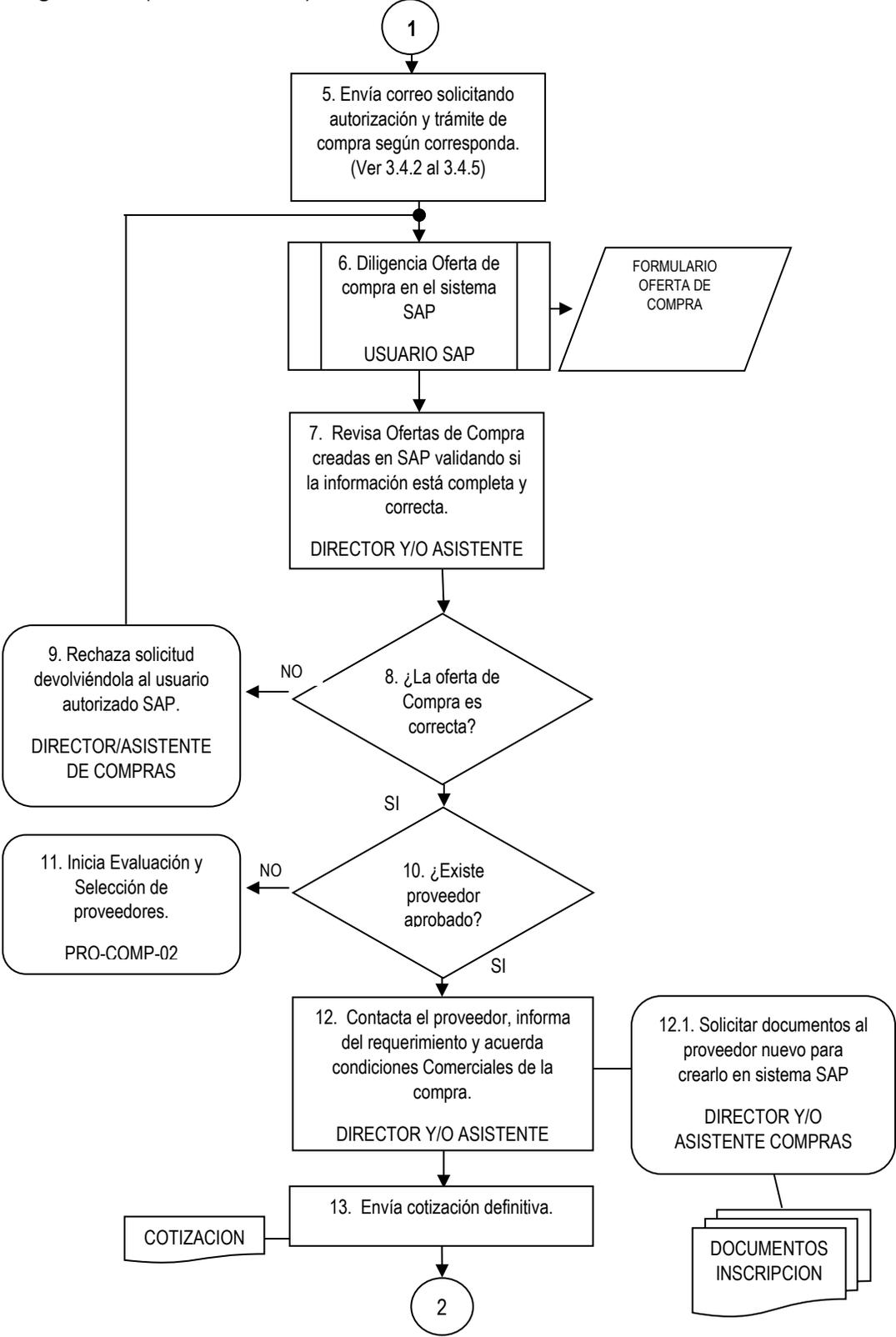


Figura 14. (Continuación)

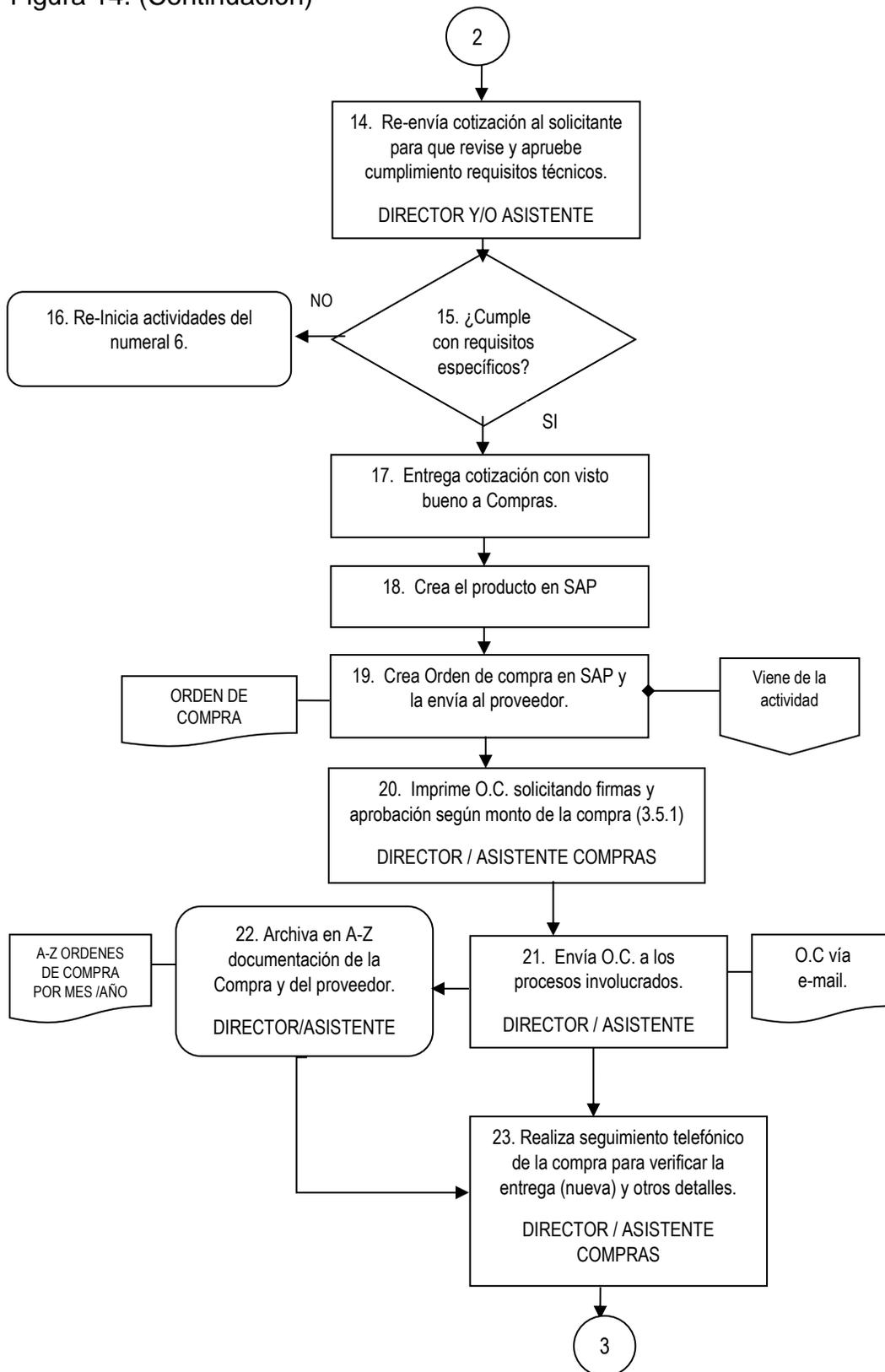


Figura 14. (Continuación)

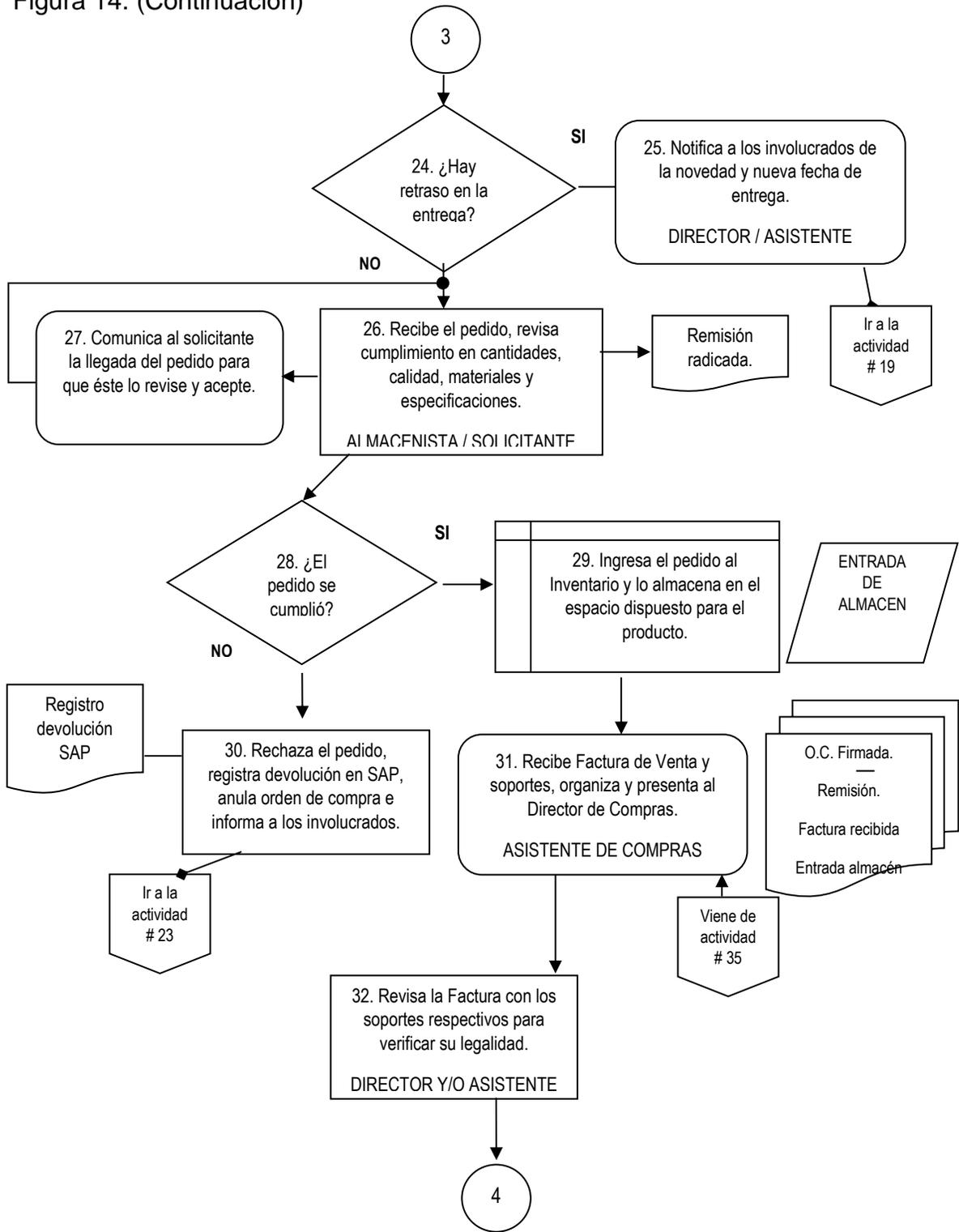
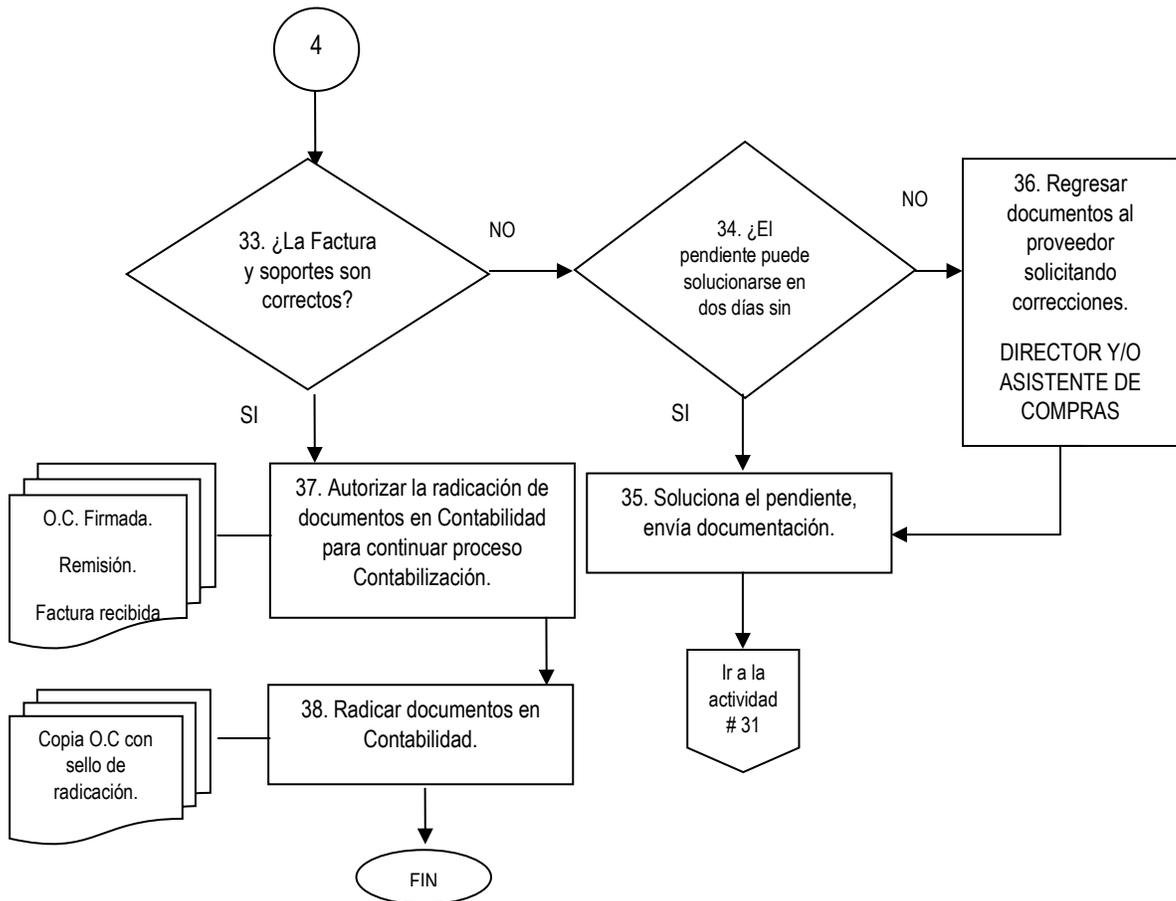


Figura 14. (Continuación)



Fuente: SURPETROIL SAS. Compras. 2015

1.4.3 Software actual. La empresa Surpetroil SAS en el momento cuenta con el software de mantenimiento infom@nte, pero es un software que no ha sido alimentado, por esta razón la poca información que se encuentra en él no es fiable. En el transcurso del proyecto se va a realizar una base de datos en Excel para que en un futuro sea incluida en el software de mantenimiento, además se realizara un estudio del software de mantenimiento para ver si infom@nte cumple con las necesidades de la empresa o si se requiere otro software.

El software tiene conceptos aplicables para una buena gestión aunque su formato no es amigable con los usuarios, ya que al momento de ingresar es necesario que el usuario tenga un amplio conocimiento para ingresar a la información de su interés lo cual requiere una capacitación mayor.

Dentro de las principales características del software están: control de activos, conocimiento del consumo de repuestos y materiales, informes de gestión de mantenimiento, conocimiento detallado de costos, automatización plan de

mantenimiento, administración préstamo de herramientas y la posibilidad de asociarlo con cualquier tipo de archivo para documentación.

1.4.4 Procedimientos de mantenimiento. Se realizó un análisis de las actividades de mantenimiento que realiza la empresa Surpetroil SAS y se encontró que tienen un cronograma de mantenimiento preventivo básico, es general para todos los equipos, sin importar su tipo o modelo, en él se incluyen 76 equipos, los cuales son de diferentes tipos, por lo cual tienen características diferentes. Además solo se siguen las directrices dadas por los fabricantes. Dentro de los mantenimientos preventivos realizados en la empresa están: servicio de mantenimiento a las 2.000 horas, 4.000 horas, 6.000 horas, 8.000 horas, 18.000 horas y 24.000 horas, este último también conocido como overhaul. Además cuenta con calibración de válvulas, de instrumentos y surtidores; pruebas hidrostáticas y rutinas de inspección.

Algunas de las actividades de mantenimiento preventivo mencionadas se encuentran en el Anexo A en el CD adjunto.

Hay otro tipo de mantenimiento que realiza la empresa, los cuales son los correctivos, el procedimiento llevado a cabo en ellos es el siguiente:

Figura 15. Procedimiento de un mantenimiento correctivo

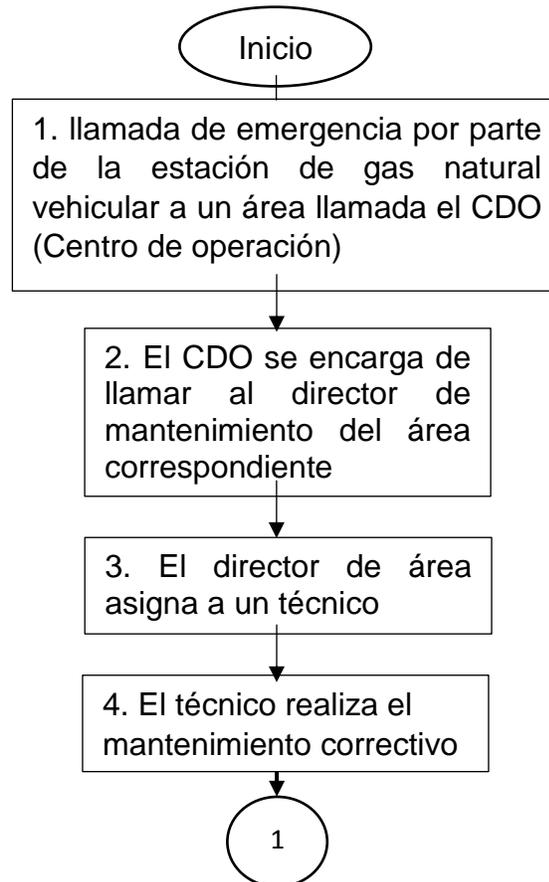
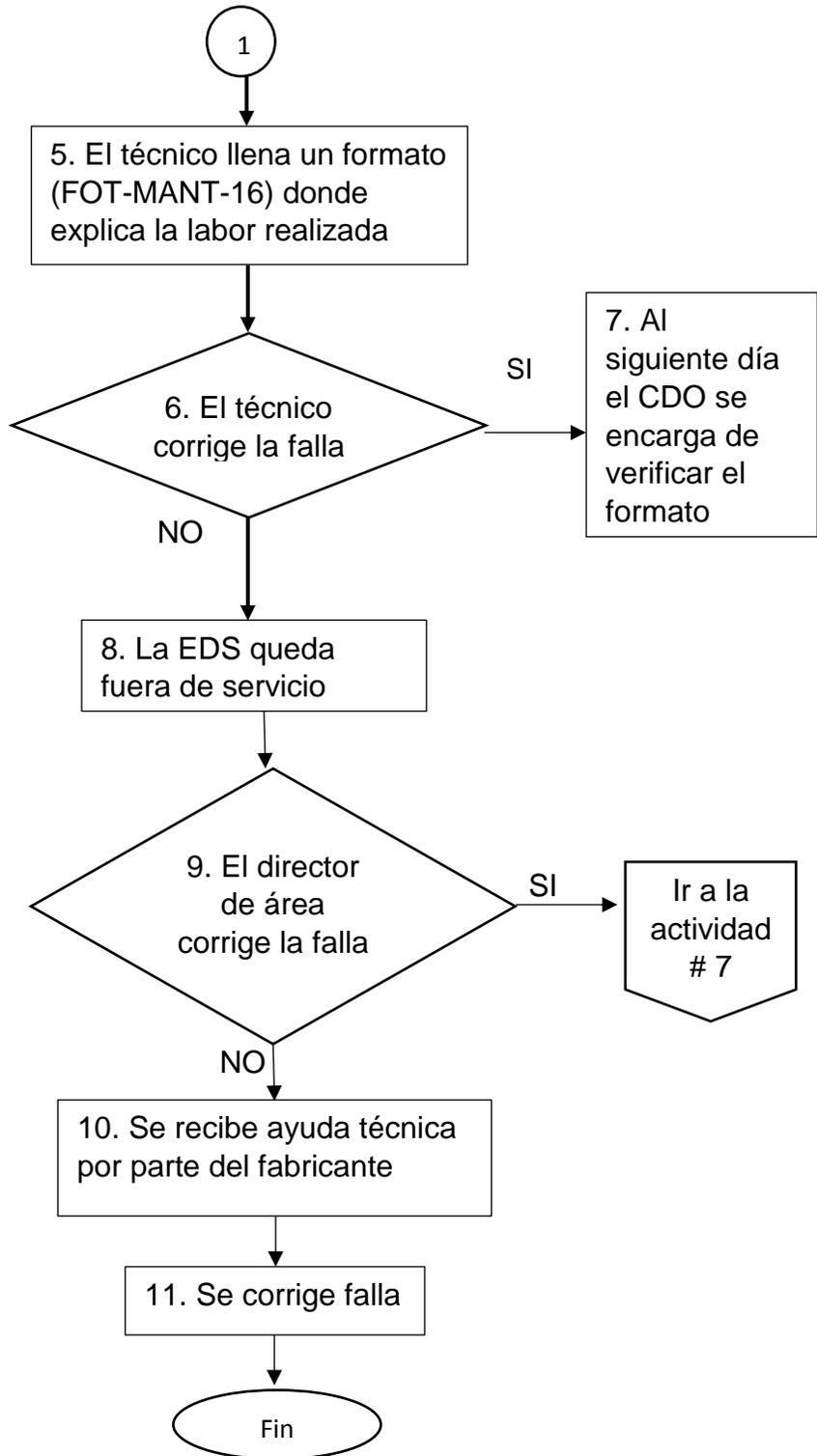
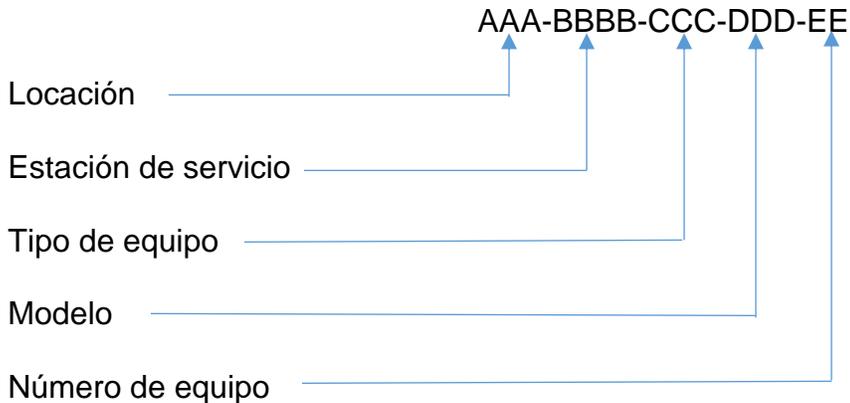


Figura 15. (Continuación)



2. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

Para definir los equipos en los cuales se va a elaborar el proyecto se debe realizar un sistema de codificación basado en la norma ISO 55000, la cual dice que para realizar una codificación se debe definir una jerarquización, para Surpetroil se elaboró respecto a la ubicación y clase de equipos, dadas las necesidades de la empresa soporte, a continuación se muestra como se codificarán los equipos.



Localización: hace referencia a la ubicación geográfica nacional.

Estación de servicio: punto de venta de combustible

Tipo de equipo: si es compresor su codificación será COMP y si es un surtidor su código será SURT

Modelo: el modelo de equipo

Número de equipo: este número hace referencia a un número que identifica, en caso de que se presenten dos o más equipos del mismo modelo, tipo de equipo, estación de servicio y localización.

2.1 CODIFICACIÓN COMPRESORES

Primero se clasifican los equipos según las características principales, entre las más importantes: fabricante, potencia del equipo, sistema de transmisión de potencia y número de etapas, en el cuadro 1 está la clasificación de los compresores.

Cuadro 1. Clasificación de Compresores

| Equipo | | Fabricante | Número de equipos | Potencia (Kv) | Número de etapas | Transmisión | Imagen equipo |
|--------|-----------------|------------|-------------------|---------------|------------------|-------------|---|
| NXB | Nanobox Booster | Galileo | 4 | 30 | 4 | Directo |  |
| MXS | Microbox | Galileo | 58 | 110-220 | 3-4 | Directo |  |
| NXS | Nanobox | Galileo | 1 | 30 | 4 | Directo |  |

Cuadro 1. (Continuación)

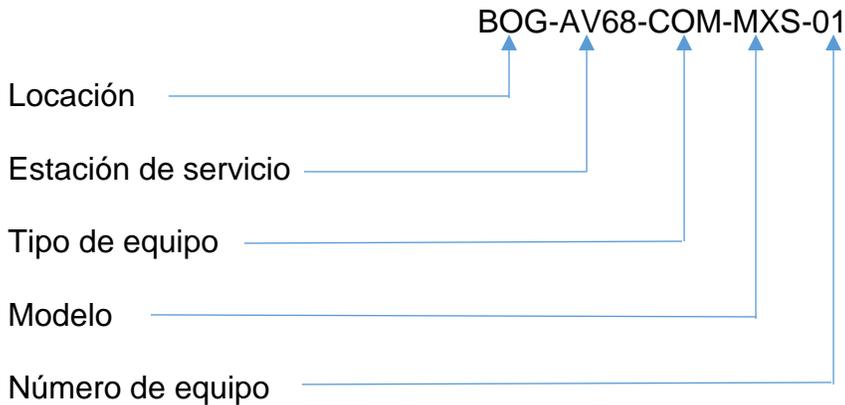
| Equipo | | Fabricante | Número de equipos | Potencia (Kv) | Número de etapas | Transmisión | Imagen equipo |
|--------|---------|------------|-------------------|---------------|------------------|-------------|--|
| AG | Agira | Ariel | 3 | 245 | 4 | Correa |  |
| AS | IODM | ASPRO | 3 | 115 | 3 | Correa |  |
| NXR | Nanobox | Galileo | 3 | 45 | 5 | Directo |  |

Cuadro 1. (Continuación)

| Equipo | | Fabricante | Número de equipos | Potencia (Kv) | Número de etapas | Transmisión | Imagen equipo |
|--------|---------------|------------|-------------------|---------------|------------------|-------------|--|
| MCS | Microbox Core | Galileo | 2 | 75 | 2-3 | Directo |  |
| MSP | Microskid | Galileo | 1 | 185 | 4 | Directo |  |

Según lo visto anteriormente se realizó la siguiente codificación para los compresores.

Ejemplo:



A continuación se muestra la codificación de los compresores a nivel nacional con el fin de mostrar su cantidad y más adelante demarcar diferencias substanciales, que permita elaborar un listado más afín a este proyecto. En la primera fila del cuadro 2 se expone el ejemplo anterior.

Con el fin de buscar particularizar la codificación y generar una reducción de información para el análisis de criticidad, se genera el siguiente cuadro, el cual permite ver las principales diferencias entre los compresores.

Cuadro 2. Codificación de compresores

| Codificación | Locación | EDS | Equipo |
|---------------------|----------|--------------------|----------|
| BOG-AV68-COM-MXS-01 | Bogotá | Avenida 68 | Microbox |
| BOG-AMER-COM-MXS-01 | Bogotá | Americana | Microbox |
| BOG-ANDE-COM-MXS-01 | Bogotá | Andes | Microbox |
| BOG-AUME-COM-MXS-01 | Bogotá | Autopista Medellín | Microbox |
| BOG-BRAS-COM-MXS-01 | Bogotá | Brasil | Microbox |
| BOG-CL49-COM-MXS-01 | Bogotá | Calle 49 | Microbox |
| BOG-CHIL-COM-MXS-01 | Bogotá | Chile | Microbox |
| BOG-COMU-COM-MXS-01 | Bogotá | Comuneros | Microbox |
| BOG-ERMI-COM-MXS-01 | Bogotá | Ermita | Microbox |
| BOG-INDU-COM-MXS-01 | Bogotá | Industriales | Microbox |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | Bogotá | Kennedy | Microbox |
| BOG-MOSQ-COM-MXS-01 | Bogotá | Cruce Mosquera | Microbox |
| BOG-MUZU-COM-MXS-01 | Bogotá | Muzu | Microbox |

Cuadro 2. (Continuación)

| Codificación | Locación | EDS | Equipo |
|---------------------|----------|------------------------|---------------|
| BOG-PUAR-COM-MXS-01 | Bogotá | Puente Aranda | Microbox |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | Bogotá | Quiroga | Microbox |
| BOG-SALI-COM-ASP-01 | Bogotá | Salitre | ASPRO |
| BOG-SALI-COM-ASP-02 | Bogotá | Salitre | ASPRO |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | Bogotá | Briceño | Nanobox |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | Bogotá | Brio Caney | Nanobox |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | Bogotá | Sibate | Nanobox |
| BOG-ZIPA-COM-NXR-01 | Bogotá | Zipaquirá | Nanobox |
| BOG-SOAC-COM-MXS-01 | Bogotá | Mas Gas Soacha | Microbox |
| BOG-POST-COM-NXS-01 | Bogotá | Postobon(Gaseosas Lux) | Nanobox |
| BOG-TINT-COM-AG-01 | Bogotá | Tintal | Agira |
| BOG-VERA-COM-MXS-01 | Bogotá | Veraguas | Microbox |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | Bogotá | Calera (La Portada) | Nanobox |
| BOG-DORA-COM-MXS-01 | Bogotá | Dorado | Nanobox |
| BOG-ATAL-COM-MXS-01 | Bogotá | Atalaya | Microbox |
| BOG-HAYU-COM-MXS-01 | Bogotá | Hayuelos | Microbox |
| BOG-CAYE-COM-MXS-01 | Bogotá | San Cayetano | Microbox |
| BOG-CHIA-COM-NXB-01 | Bogotá | Chía (Las Margaritas) | Microbox |
| MED-APOL-COM-MXS-01 | Medellín | Apolo | Microbox |
| MED-BAHI-COM-MXS-01 | Medellín | Bahía | Microbox |
| MED-MADE-COM-MXS-01 | Medellín | Maderos | Microbox |
| MED-EXPO-COM-MXS-01 | Medellín | Exposiciones | Microbox |
| MED-LA33-COM-MXS-01 | Medellín | Texaco La 33 | Microbox |
| MED-LA65-COM-MXS-01 | Medellín | La 65 | Microbox |
| MED-MANG-COM-MXS-01 | Medellín | Mangos | Microbox |
| MED-TEX5-COM-MXS-01 | Medellín | Texaco 5 | Microbox |
| MED-VEGA-COM-MXS-01 | Medellín | Vegas Gazel | Microbox |
| MED-VILL-COM-MXS-01 | Medellín | Villanueva | Microbox |
| MED-AGUA-COM-MXS-02 | Medellín | Aguacatala | Microbox |
| MED-VEAU-COM-AG-01 | Medellín | Vegas Autogas | AGIRA |
| MED-CAST-COM-MXS-01 | Medellín | Castilla | Microbox |
| MED-COLT-COM-MCS-01 | Medellín | Coltejer | Microbox Core |
| MED-ORIE-COM-MXS-01 | Medellín | Oriental | Microbox |

Cuadro 2. (Continuación)

| Codificación | Locación | EDS | Equipo |
|---------------------|-------------|------------------------------|------------------|
| MED-ANGE-COM-MXS-01 | Medellín | Ángeles | Microbox |
| MED-PNOR-COM-ASP-01 | Medellín | Portal Norte | Aspro |
| OTR-5AVE-COM-MXS-01 | Otro | Mas Gas 5ta Avenida Neiva | Microbox |
| OTR-MARC-COM-MXS-01 | Otro | San Marcel | Microbox |
| OTR-GIRA-COM-MXS-01 | Otro | Carrefour Girardot | Microbox |
| BUC-BOSQ-COM-MXS-01 | Bucaramanga | Bosque | Microbox |
| BUC-PUEN-COM-MXS-01 | Bucaramanga | El Puente | Microbox |
| BUC-RIOF-COM-MXS-01 | Bucaramanga | Rio Frio | Microbox |
| BUC-ORIE-COM-MXS-01 | Bucaramanga | Oriental | Microbox |
| BUC-BOLI-COM-MXS-01 | Bucaramanga | Bolívar | Microbox |
| COS-BARR-COM-MXS-01 | Costa | Barranquillita | Microbox |
| COS-SOLE-COM-MXS-01 | Costa | La Soledad | Microbox |
| COS-TRIN-COM-MXS-01 | Costa | Trinidad | Microbox |
| COS-LA17-COM-MXS-01 | Costa | La 17 | Microbox |
| COS-UNIO-COM-MSP-01 | Costa | La Unión | Microskid |
| COS-DRUM-COM-MCS-01 | Costa | Drummond | Microbox Core |
| COS-SANF-COM-MXS-01 | Costa | San Felipe | Microbox |
| COS-SBUE-COM-MXS-01 | Costa | San Buenaventura | Microbox |
| CAL-CHIP-COM-MXS-01 | Cali | Chipichape | Microbox |
| CAL-LA42-COM-MXS-01 | Cali | Palmira Gnv La 42 | Microbox |
| CAL-VALI-COM-MXS-01 | Cali | Valle De Lili | Microbox |
| CAL-AU15-COM-MXS-01 | Cali | Auto 15 | Microbox |
| CAL-DIAM-COM-MXS-01 | Cali | Diamante | Microbox |
| CAL-ELGO-COM-MXS-01 | Cali | El Gordito | Microbox |
| CAL-ELGR-COM-MXS-01 | Cali | El Grande | Microbox |
| CAL-LAUN-COM-MXS-01 | Cali | La Unión | Microbox |
| CAL-OBRE-COM-MXS-01 | Cali | Obrero | Microbox |
| CAL-COLG-COM-NXR-01 | Cali | Colgate | Nanobox |
| OTR-LA17-COM-MXS-01 | Otro | La 17 | Microbox |
| OTR-PARQ-COM-AG-01 | Otro | Parque Olaya | Agira |
| OTR-POTR-COM-MXS-01 | Otro | Potrillos | Microbox |

2.2 CODIFICACIÓN SURTIDORES

Actualmente los surtidores están codificados según su configuración, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 16. Configuración de surtidores

| Configuración de Surtidores | | | | |
|------------------------------------|-----------|------------------------------------|--|--------------------------------|
| Línea de Surtidor | Servicio | Caudal Instantáneo Máximo de Carga | Cantidad de Vías de Panel Prioritario de Carga | Cantidad de Mangueras de Carga |
| EM | B* | 6 [m3/min] | 1 (single way) | S Single CNG hose |
| | | 15 [m3/min] | | |
| | S* | 30 [m3/min] | 3 (Three way) | D Double CNG hoses |
| | | 50 [m3/min] | | |

***B**: Base ;**S**: Base con autoservicio

Ejemplos de configuración de Surtidores

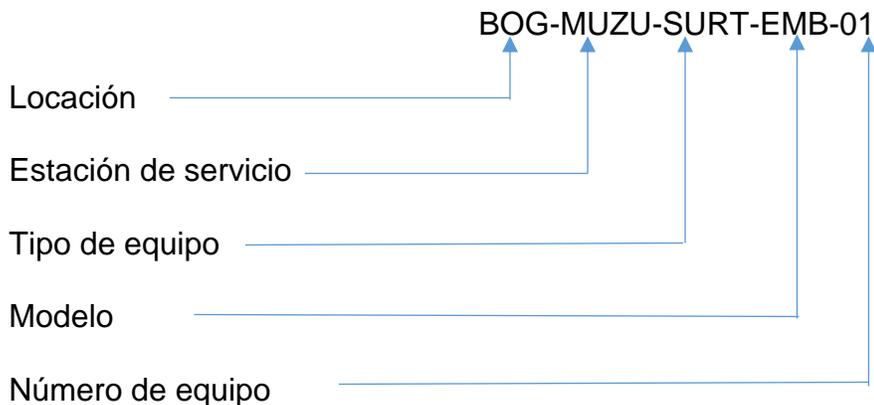
EMB-6-1-D: Surtidor EM Base; caudal instantáneo máximo de carga: 6 kg./min.; panel prioritario de carga de una (1) vía; dos (D) mangueras de carga.

EMB-15-1-D: Surtidor EM Base; caudal instantáneo máximo de carga: 15 kg./min.; panel prioritario de carga de una (1) vía; dos (D) mangueras de carga.

EMB-30-3-S: Surtidor EM Base; caudal instantáneo máximo de carga 30 kg./min.; panel prioritario de carga de tres (3) vías; una (S) manguera de carga.

Fuente: GALILEO. Surtidores. Natural Gas Technologies.2013

Dada la cantidad de surtidores, la posible inclusión de más equipos y que por estación en promedio hay entre 4 y 8 surtidores (depende a la demanda de gas vehicular), no se expone la tabla de codificación de todos los surtidores. A continuación un ejemplo de codificación:



3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

El análisis de criticidad permite reconocer y generar una jerarquización de los activos, en este caso son compresores y surtidores, equipos ubicados en estaciones de servicio donde la empresa Surpetroil S.A.S presta el servicio de mantenimiento. Este análisis permite identificar la importancia y las consecuencias de los fallos potenciales. Es de suma importancia tener en cuenta este análisis ya que permite conocer los equipos a los cuales es fundamental hacerles un análisis de falla.

Para el siguiente análisis se tuvieron en cuenta los formatos de mantenimiento diligenciados por los técnicos (fot-man-16). Todos estos formatos fueron ingresados a un archivo de Excel con el fin de ser ingresados en el software de mantenimiento. En el anexo B se encuentra esta tabla. Además se tuvo presente la información brindada por los técnicos, el director de técnicos, el gerente de mantenimiento y la asistente comercial.

3.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS CRITICOS

Los siguientes criterios fueron basados en una norma realizada por Carlos Parra, Sevilla, febrero de 2.005. El modelo de criticidad es conocido como Semicuantitativo, se eligió este método porque se acopla a las necesidades del proyecto, la fórmula de este análisis corresponde a la siguiente;

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: criticidad total por riesgo

FF: frecuencia de fallas

C: consecuencias de las fallas

Donde las consecuencias (C), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Donde:

IO: factor de impacto de la producción

FO: factor de flexibilidad operacional

CM: factor de costos de mantenimiento

SHA: factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

3.1.1 Frecuencia de falla. Con este criterio se evaluó el estado de cada uno de los equipos que intervienen en el sistema de compresión de gas vehicular, de acuerdo al número de fallas presentadas en un periodo de 6 meses, este criterio se basó en

un histórico realizado por los proyectistas, ubicado en el anexo B. En el cuadro 3, se puede apreciar cada uno de los criterios con su respectiva ponderación.

Cuadro 3. Frecuencia de fallas

| CRITERIO | VALOR |
|------------------------------|-------|
| Excelente, menos de 6 fallas | 1 |
| Baja, entre 7 y 10 fallas | 2 |
| Medio, entre 11 y 15 fallas | 3 |
| Alta, mayor a 15 fallas | 4 |

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.1.2 Impacto operacional. Con este criterio se evaluaron los impactos que pueden presentarse cuando ocurre una falla en un equipo. Este criterio se realizó con el histórico de fallas, tomando los valores de tiempos de parada de los equipos en un periodo de 6 meses. Para la selección de los valores se tuvo en cuenta que el cliente le exige a Surpetroil una disponibilidad mayor al 98,5%, lo cual indica que en un periodo de 6 meses, el número de horas de indisponibilidad no debe superar las 60 horas por estación de servicio. En el cuadro 4, se puede apreciar la respectiva ponderación de los impactos operacionales.

Cuadro 4. Impacto operacional

| CRITERIO | VALOR |
|--|-------|
| Sumatoria de tiempos de parada mayor a 60 horas | 10 |
| Sumatoria de tiempos de parada entre 45,1 a 60 horas | 7 |
| Sumatoria de tiempos de parada entre 30,1 a 45 horas | 5 |
| Sumatoria de tiempos de parada entre 15,1 a 30 horas | 3 |
| Sumatoria de tiempos de parada menos a 15 horas | 1 |

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.1.3 Flexibilidad operacional. En este criterio se analizó que tan sencilla es la reparación de un equipo. Para esto se tomó el tiempo promedio de reparación de una falla, se basó en el histórico de fallas. El siguiente cuadro, muestra los criterios y sus respectivas ponderaciones.

Cuadro 5. Flexibilidad operacional

| CRITERIO | VALOR |
|---|-------|
| Tiempo promedio de reparación menor a 1 hora | 1 |
| Tiempo promedio de reparación entre 1 a 2 horas | 2 |
| Tiempo promedio de reparación entre 2 a 3 horas | 3 |
| Tiempo promedio de reparación mayor a 3 horas | 4 |

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.1.4 Costos de mantenimiento. Este criterio es soportado por la asistente comercial y se realizó con el concepto profesional del Gerente de mantenimiento. Para el análisis se tuvo en cuenta mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos; los costos de los repuestos y la mano de obra extra laboral de los técnicos. En los mantenimientos preventivos se tiene un presupuesto promedio de \$ 2'100.000 mensual por equipo y un límite de 1'500.0000 en mantenimientos correctivos. La sumatoria de los límites de los mantenimientos da un valor de 3'600.000. Los siguientes valores son un promedio mensual. El cuadro 6, muestra criterios y su respectiva ponderación.

Cuadro 6. Costos de mantenimiento

| CRITERIO | VALOR |
|------------------------------|-------|
| Menor o igual a \$ 3'600.000 | 1 |
| Mayor a \$ 3'600.000 | 2 |

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.1.5 Impacto de Seguridad, Ambiente e Higiene. Este criterio evalúa el impacto a la seguridad del técnico y el impacto ambiental cuando se presenta una falla en un equipo.

Cuadro 7. Impacto de seguridad, Ambiente e Higiene

| Criterio | Valor |
|--|-------|
| No provoca ningún tipo de daño a personas o ambiente | 1 |
| Provoca daños menores al ambiente y seguridad | 3 |
| Afecta al medio ambiente, las instalaciones y posiblemente al personal | 6 |
| Riesgo alto perdida de vida, daños graves ambiente e instalaciones | 8 |

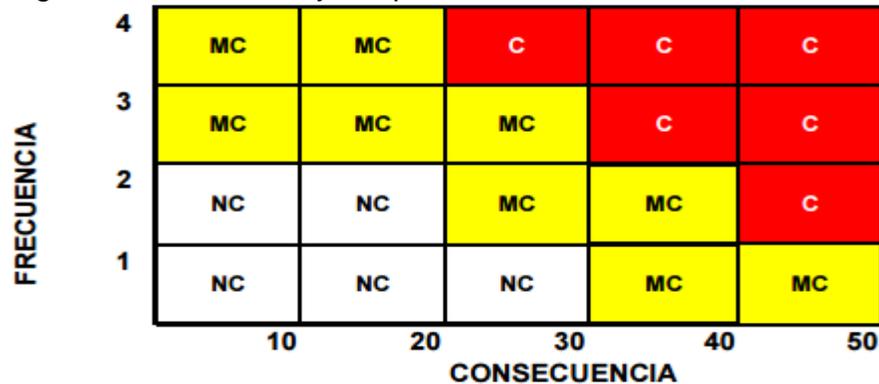
Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.2 MATRIZ DE CRITICIDAD

Luego se utilizó la matriz de Carlos Parra, para determinar los estados de criticidad de cada equipo, tanto compresores como surtidores. En las siguientes figuras se muestra la jerarquización y clasificación que se usó:

- ✓ No críticos (NC)
- ✓ Medianamente Críticos (MC)
- ✓ Críticos (C)

Figura 17. Modelo de jerarquización



Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

Figura 18. Modelo calificación

| | | | | | | |
|-------------------|----------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|
| FRECUENCIA | 4 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| | 3 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| | 2 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | CONSECUENCIA | | | | |

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

3.3 ELABORACIÓN MATRIZ DE CRITICIDAD

A continuación se presenta la matriz de criticidad resumida, aplicada a los compresores ubicados en la ciudad de Bogotá y a los surtidores de las estaciones de Salitre y Muzu. La matriz completa de todos los equipos a nivel nacional, se encontrarán como Anexo C en el CD adjunto al documento.

Ejemplo: el siguiente ejemplo se realizó con el compresor de la estación de Kennedy

- ✓ Frecuencia de falla: el compresor de la estación de Kennedy presentó 38 mantenimientos correctivos en un periodo de 6 meses, debido a que presenta más de 25 mantenimientos le corresponde un valor de 4
- ✓ Impacto operacional: la sumatoria del tiempo de parada en el periodo de 6 meses fue 60 horas y 30 minutos, a la cual le corresponde un valor de 10
- ✓ Flexibilidad operacional: el tiempo promedio de reparación de los mantenimientos correctivos en el periodo de 6 meses fue de 2 horas y 36 minutos, al cual le corresponde un valor de 2
- ✓ Costos de mantenimiento: luego de obtener el promedio de todos los mantenimientos realizados en la estación, en un periodo de 6 meses, se tuvo un valor de \$ 2'488.000 pesos colombianos, tuvo un valor de 1
- ✓ Impacto de seguridad, ambiente e higiene: Durante un periodo de 6 meses en la estación de servicio se presentaron 2 fugas y un venteo; en las tres actividades anteriores hubo expulsión de gas natural, provocando daños menores al medio

ambiente y a la seguridad del personal, por esta razón le corresponde un valor de 3 es este ítem

Luego se aplica la fórmula de Carlos Parra para obtener la consecuencia:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Donde:

IO: factor de impacto de la producción

FO: factor de flexibilidad operacional

CM: factor de costos de mantenimiento

SHA: factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

$$C = (10 \times 3) + 1 + 3$$

$$C = 34$$

Después se aplica la fórmula de Carlos Parra para obtener la criticidad total por riesgo:

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: criticidad total por riesgo

FF: frecuencia de fallas

C: consecuencias de las fallas

$$CTR = 4 \times 34$$

$$CTR = 136$$

Por último se observa la figura 18. Modelo de calificación. Con el valor de 136 de criticidad total por riesgo, podemos concluir que el equipo es crítico. Este procedimiento se repite con todos los equipos de la empresa, En el Anexo C adjunto en el CD se encuentra la matriz de criticidad de los equipos.

Cuadro 8. Matriz de criticidad compresores de las EDS de Bogotá

| Equipo | Frecuencia de falla | Impacto operacional | Flexibilidad operacional | Impacto (SAH) | Costo MTTO | Consecuencia | Total | Jerarquización |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------|------------|--------------|-------|----------------|
| BOG-AV68-COM-MXS-01 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 25 | 75 | MC |
| BOG-AMER-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-ANDE-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 7 | 7 | NC |
| BOG-AUME-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | NC |
| BOG-BRAS-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-CL49-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 10 | NC |
| BOG-CHIL-COM-MXS-01 | 4 | 5 | 3 | 6 | 1 | 22 | 88 | MC |
| BOG-COMU-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-ERMI-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 8 | 16 | NC |
| BOG-INDU-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 4 | NC |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 4 | 10 | 3 | 3 | 1 | 34 | 136 | C |
| BOG-MOSQ-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-MUZU-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 7 | 14 | NC |
| BOG-PUAR-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 6 | 12 | NC |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 3 | 7 | 4 | 6 | 1 | 35 | 136 | C |
| BOG-SALI-COM-ASP-01 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 9 | 9 | NC |
| BOG-SALI-COM-ASP-02 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 4 | NC |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 4 | 7 | 4 | 3 | 1 | 32 | 128 | C |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 4 | 10 | 3 | 1 | 2 | 33 | 132 | C |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 4 | 10 | 4 | 3 | 1 | 44 | 176 | C |
| BOG-ZIPA-COM-NXR-01 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 7 | 14 | NC |
| BOG-SOAC-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | NC |

Cuadro 8. (Continuación)

| Equipo | Frecuencia de falla | Impacto operacional | Flexibilidad operacional | Impacto (SAH) | Costo MTTO | Consecuencia | Total | Jerarquización |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------|------------|--------------|-------|----------------|
| BOG-POST-COM-NXS-01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-TINT-COM-AG-01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | NC |
| BOG-VERA-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 6 | 12 | NC |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 4 | 10 | 4 | 3 | 1 | 44 | 176 | C |
| BOG-CHIA-COM-NXB-01 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 10 | NC |
| BOG-DORA-COM-MXS-01 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 14 | 28 | NC |
| BOG-ATAL-COM-MXS-01 | 4 | 1 | 2 | 3 | 1 | 6 | 24 | NC |
| BOG-HAYU-COM-MXS-01 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 8 | 16 | NC |
| BOG-CAYE-COM-MXS-01 | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 14 | 14 | NC |

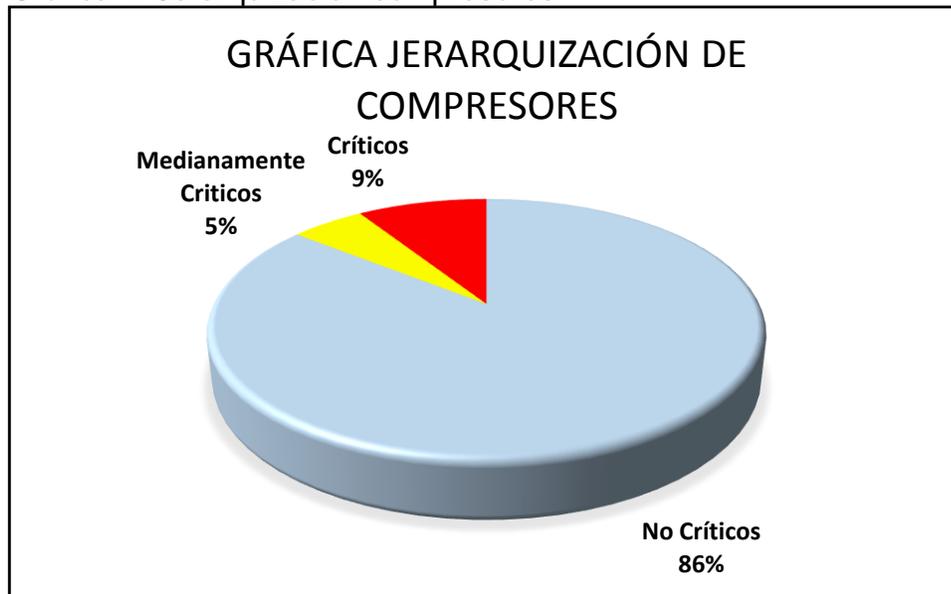
Cuadro 9. Matriz de criticidad surtidores EDS Salitre y Muzu

| Equipo | Frecuencia de falla | Impacto operacional | Flexibilidad operacional | Impacto (SAH) | Costo MTTO | Consecuencia | Total | Jerarquización |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------|------------|--------------|-------|----------------|
| BOG-SALI-SURT-EMB-01 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | NC |
| BOG-SALI-SURT-EMB-02 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 6 | 18 | NC |
| BOG-SALI-SURT-EMB-03 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 6 | 6 | NC |
| BOG-SALI-SURT-EMB-04 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 6 | 12 | NC |
| BOG-SALI-SURT-EMB-05 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 7 | 14 | NC |
| BOG-SALI-SURT-EMB-06 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 7 | 7 | NC |
| BOG-MUZU-COM-MXS-01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | NC |
| BOG-MUZU-COM-MXS-02 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 4 | NC |
| BOG-MUZU-COM-MXS-03 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 8 | 16 | NC |

Como se puede observar en el cuadro 9 ninguno de los surtidores es crítico, esto también ocurre con todos los otros surtidores de las estaciones de servicio de la empresa. La razón es porque cuando un surtidor para, por lo general la producción de gas comprimido vehicular no para, ya que en la mayoría de las estaciones hay más de un surtidor. Por eso cuando uno de ellos para, hay otros para remplazar su función, a diferencia de los compresores que cuando para uno, se detiene la compresión del gas. Por lo anterior, el impacto operacional de los surtidores es bajo.

En la gráfica 1. Se muestra la jerarquización de los compresores de gas vehicular.

Gráfica 1. Jerarquización compresores



3.4. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL ANÁLISIS DE FALLA

La selección de los equipos para el análisis de falla, se realiza a las maquinas más representativas en la operación y se hace mediante parámetros de observación y desempeño, esto ayudo a formar el esquema de mantenimiento y la frecuencia con que se llevara a futuro en cada estación de servicio.

Se profundizo en el tema de criticidad, aspecto importante, pues mediante este fue posible priorizar los equipos que requieren un mantenimiento especifico o cuidados particulares para los mismos. Los equipos seleccionados para el análisis de falla fueron los que dieron críticos en el análisis de criticidad. Debido a que ningún surtidor resulto crítico, se analizaran los seis surtidores de la estación de Salitre, los cuales arrojaron los más altos niveles de criticidad dentro de los surtidores, estos se encuentran al final del siguiente cuadro.

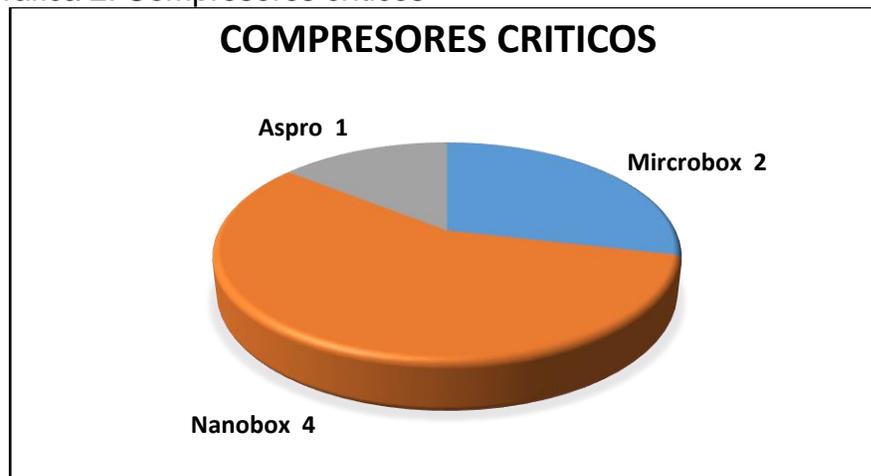
En el cuadro 10 se pueden observar los equipos seleccionados para el análisis de falla y sus respectivos valores de criticidad.

Cuadro 10. Equipos seleccionados para el análisis de falla

| EQUIPO | CRITICIDAD |
|----------------------|------------|
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 136 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 105 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 128 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 132 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 176 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 176 |
| MED-PNOR-COM-ASP-01 | 132 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-01 | 5 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-02 | 18 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-03 | 6 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-04 | 12 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-05 | 14 |
| BOG-SALI-SURT-EMB-06 | 7 |

Luego de realizar el análisis de criticidad, se observan valores muy bajos y otros muy altos de criticidad, diferencias grandes. Luego de evaluar los tipos de equipos que tienen los valores más altos de criticidad, se encontró que los 4 Nanobox Booster que tiene la empresa son equipos críticos, a pesar que son solo 4 son la mayoría de los equipos críticos. Con lo anterior se puede concluir que los Nanobox Booster son los que presentan más mantenimientos correctivos a la empresa. En la gráfica 2 se puede observar el número de compresores críticos.

Gráfica 2. Compresores críticos



4. ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA

En el presente capítulo primero se realizó un análisis RPN(número de prioridad de riesgo) a las fallas de los equipos seleccionados en el capítulo anterior (análisis de criticidad de equipos), con el fin de jerarquizar las fallas y seleccionar así las más frecuentes, catastróficas y críticas para los equipos.

Luego de seleccionar las fallas más representativas se procedió a realizar el análisis de falla es el RCFA (análisis causa raíz de las fallas), con el fin de conocer la causa raíz verdadera de la falla y lograr tomar correctas decisiones respecto a cómo tratar la falla y evitar que se vuelvan a presentar

4.1 ANÁLISIS DE NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (RPN)

El número de prioridad de riesgo, es un método de valoración de riesgos teniendo en cuenta la severidad, ocurrencia y probabilidad de detección de las fallas, estos parámetros se utilizan con el fin de jerarquizar cada una de las fallas para medir su grado de criticidad en el proceso.¹

Para elaborar el RPN se desarrolló la siguiente fórmula:

$$RPN = S \times O \times D$$

Donde:

S: hace referencia a severidad

O: hace referencia a ocurrencia

D: hace referencia a detección

Cuadro 11. Número de prioridad de riesgo

| SEVERIDAD | |
|--|-------------|
| Descripción | Ponderación |
| Evento catastrófico, parada del equipo mayor a 6 horas | 10 |
| Evento importante, parada de equipo entre 2 a 6 horas | 7 |
| Evento moderado, parada del equipo menor a 2 horas | 4 |
| Evento menor, no se presenta parada | 1 |

¹ MINISTERIO DE SALUD DE PERU. Análisis modal de sus fallas y sus efectos AMFE[en línea].<<http://www.minsa.gob.pe/dgsp/observatorio/documentos/herramientas/AMFE.pdf>> [citado el 28 de enero de 2016]

Cuadro 11. (Continuación)

| OCURRENCIA | |
|--|-------------|
| Descripción | Ponderación |
| Frecuente, la falla ocurre una vez al mes | 10 |
| Ocasional, la falla ocurre una vez cada 2 meses | 7 |
| Infrecuente, la falla ocurre una vez cada 3 meses | 4 |
| Remoto, la falla ocurre una vez cada 6 meses | 1 |
| DETECCIÓN | |
| Descripción | Ponderación |
| Remota probabilidad, no se puede detectar la falla | 10 |
| Baja probabilidad, existen métodos externos para detectar la falla | 7 |
| Moderada probabilidad, existen parámetros de comparación | 4 |
| Alta Probabilidad de detección, existen testigos , y parámetros de comparación | 1 |

Luego de elaborar el NPR se dispone a analizar las fallas más representativas, y el método a usar es el RCFA

Para el análisis RPN se discriminaron y subdividieron las fallas de la siguiente manera:

- ✓ Equipo: en esta subdivisión se discrimina si es un compresor o un surtidor
- ✓ Modelo de equipo: como su nombre lo dice se subdivide por modelo de equipo, la diferencia de falla entre modelos varia bastante, esto fue evidenciado en el análisis de criticidad de equipos
- ✓ Subsistema: se subdividió según el sistema del equipo, estas fueron establecidas en las generalidades de los equipos

En el cuadro 12 se realizó el RPN de las fallas de los equipos críticos:

Cuadro 12. Análisis RPN

| Equipo | Modelo | Subsistema | Falla | Severidad | Ocurrencia | Detección | NPR |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--|-----------|------------|-----------|-----|
| Compresor | Microbox | Almacenamiento | Alta presión de almacenamiento | 4 | 1 | 1 | 4 |
| | | | Falla válvula de almacenamiento | 4 | 1 | 4 | 16 |
| | | Compresión | Falla en válvula Blow Down | 4 | 4 | 1 | 16 |
| | | | Falla manómetro | 1 | 4 | 4 | 16 |
| | | | Falla válvula de seguridad | 7 | 7 | 4 | 196 |
| | | | Falta de refrigeración | 4 | 7 | 4 | 112 |
| | | | Fuga tubería | 10 | 4 | 1 | 40 |
| | | | Presión de aceite | 7 | 10 | 4 | 280 |
| | | | Pulso de lubricación | 4 | 1 | 1 | 4 |
| | | | Exceso de carga en el compresor | 4 | 1 | 4 | 16 |
| | | Eléctrico | Fluctuaciones de voltaje | 4 | 1 | 4 | 16 |
| | | | Problema de la línea de alimentación de los ventiladores | 10 | 1 | 4 | 40 |
| | | | Ausencia de suministro eléctrico | 4 | 4 | 1 | 16 |
| | | Motor | Problema motor | 7 | 4 | 4 | 112 |
| | | Sistema de control | Falla actuador | 4 | 1 | 7 | 28 |
| | | | Presión de control | 10 | 4 | 1 | 40 |
| | Nanobox Booster | Almacenamiento | Falla en transductor de presión | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | Compresión | Ausencia de gas | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | Daño de vástago | 10 | 4 | 7 | 280 |
| | | | Daño internos cilindro | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | | Daño en intercambiador de calor | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | | Daño internos cilindro | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | | Falla en los sellos del vástago | 10 | 1 | 4 | 40 |
| Falla en válvula Blow Down | | | 4 | 1 | 4 | 16 | |
| Falla válvula bypass | | | 7 | 4 | 4 | 112 | |
| Falla válvula de seguridad | | | 7 | 4 | 4 | 112 | |
| Fuga de gas | 7 | 1 | 1 | 7 | | | |

Cuadro 12. (Continuación)

| | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|----|----|-----|-----|
| Compresor | Nanobox Booster | Compresión | Nivel de aceite mínimo | 4 | 1 | 1 | 4 |
| | | | Presencia de condensados | 10 | 1 | 7 | 70 |
| | | | Presión de aceite | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | | Ausencia de energía eléctrica | 7 | 1 | 1 | 7 |
| | | | Daño display | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | ERM | Daño válvula solenoide | 4 | 1 | 4 | 16 |
| | | | Falla en el regulador de presión de gas | 7 | 10 | 4 | 280 |
| | | | Falla Válvula de emergencia | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | | Filtro de aceite saturado | 7 | 1 | 4 | 28 |
| | | Motor | Falla arranque suave | 7 | 1 | 1 | 7 |
| | Falso contacto en el cableado | | 4 | 4 | 4 | 64 | |
| | Sobrecarga en el eje del motor | | 4 | 4 | 10 | 160 | |
| | Sistema de control | Falla del compresor de aire | 4 | 4 | 7 | 112 | |
| | | Falso contacto en el cableado | 4 | 4 | 4 | 64 | |
| | Aspro | Compresión | Daño de manómetro | 1 | 4 | 1 | 4 |
| | | | Falla de sensor de temperatura | 4 | 1 | 1 | 4 |
| Falla en intercambiador de calor | | | 4 | 4 | 4 | 64 | |
| Fuga de gas | | | 7 | 1 | 1 | 7 | |
| Eléctrico motor | | Daño relé | 7 | 1 | 7 | 49 | |
| | | Problemas del motor | 10 | 10 | 4 | 400 | |
| Surtidor | EMB | Mecánico | Daño por alta presión | 4 | 10 | 4 | 160 |
| | | | Falla de filtros presurtidor | 4 | 1 | 4 | 16 |
| | | | Bloqueo de check | 7 | 10 | 1 | 70 |
| | | | Daño en cuello de ganzo | 4 | 10 | 1 | 40 |
| | | | Desprendimiento de manguera | 7 | 7 | 1 | 49 |
| | | | Manguera bloqueada | 4 | 10 | 1 | 40 |
| | | Eléctrico | Falla de electricidad en la eds | 4 | 4 | 4 | 64 |
| | | | Corto en sistema eléctrico | 7 | 1 | 7 | 49 |
| | | | Daño de display | 4 | 1 | 1 | 4 |

Para la selección de las fallas más críticas se eligieron las que presentan un valor por encima de 150 en el RPN, las fallas que están por encima de este valor están sombreadas con color gris en el cuadro anterior. Al final del análisis RPN se arrojó un total de 8 fallas críticas, con estas se le realizara un análisis causa raíz en el siguiente subcapítulo.

4.2 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LAS FALLAS (RCFA)¹

El método seleccionado para la realización del análisis de falla es el RCFA, análisis causa raíz de las fallas, es un método riguroso para solucionar problemas en cualquier tipo de falla, se basa en un proceso lógico y en la utilización de árboles de causas de fallas. Por razonamiento deductivo y verificación de hechos, es posible llegar a las causas originales de la falla.

Las ventajas de este método son: permite establecer un patrón de fallas en los equipos, motivación del personal a encontrar la causa de la falla, mejora las condiciones ambientales del trabajo, mejora la seguridad industrial y mejora significativamente los tiempos de operación y disponibilidad de los equipos.

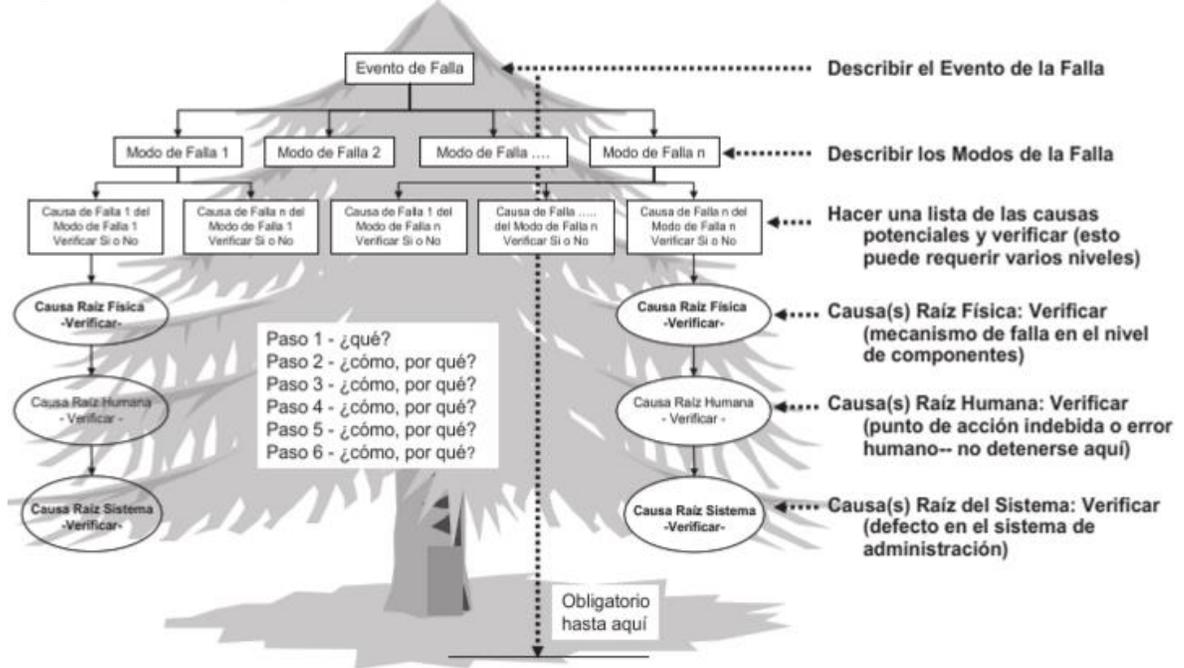
Los pasos en la metodología RCFA, para encontrar la causa raíz de las fallas son:

- ✓ Responder a una condición fuera del común y registrar la mayor cantidad de evidencias posibles
- ✓ Organizar el grupo que va a realizar el análisis causa raíz
- ✓ Analizar la falla y constatar las causas raíces
- ✓ Transmitir los resultados
- ✓ Implementación, monitoreo y análisis RCFA

En la figura 19 se puede observar el proceso lógico del RCFA.

¹ MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfa omega Grupo Editor. México. 2009

Figura 19. Árbol lógico en el RCFA



MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfa omega Grupo Editor. México. 2009.

A continuación se realizó el análisis causa raíz de las 8 fallas seleccionadas:

4.2.1 Análisis causa raíz de baja presión de aceite. Esta falla se presenta en la lubricación al sistema de compresión.

Tabla 1. Secuencia de evento baja presión de aceite

| | | |
|------------------------------------|--|--------------|
| CODIGO EQUIPO: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | EDS: Kennedy |
| FALLA PRESENTADA | | |
| Baja presión de aceite | | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS | |
| 12/11/2014 | llamado por Variacion de -6% en la presión de aceite , se encuentra operativo compresor y surtidores, se realiza monitoreo. | |
| 27/11/2014 | Alarma por presión de control y de aceite, se realiza reseteo en variador y seguimiento. | |
| 3/12/2014 | Alarma por falla en pulsos de lubricación, se realiza reseteo de alarma. | |
| 7/12/2014 | Falta presión de aceite, se encontro que el motor principal no arrancaba, se realizan pruebas y el motor trabaja dentro de los parametros, se procede a dar marcha y la falla no se vuelve a presentar. | |
| 26/02/2015 | Llamado por falta de presión de aciete. EDS fuera de servicio. Se evidencia piloto electrovalvula 3/2 en manual generando presurización en primera etapa, fuga por valvula 5/2 en la cara posterior de conexión. Se regulan presiones y queda trabajando adminisón 2 | |

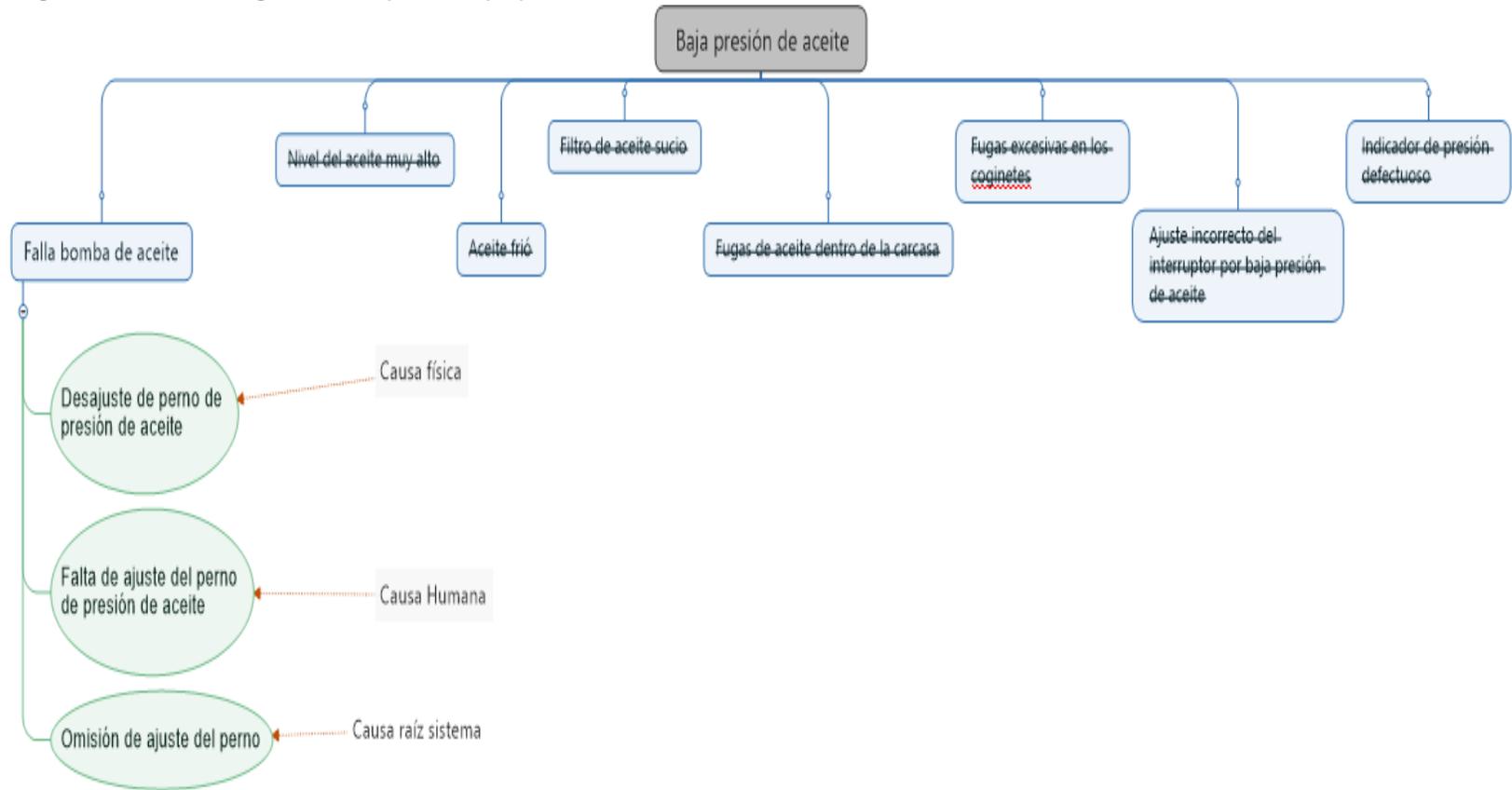
Tabla 1. (Continuación)

| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS |
|------------|---|
| 3/03/2015 | Compresor deshabilitado y alarmado por falta de presión de aceite, producto de ausencia de energía eléctrica, se resetea alarma |
| 3/03/2015 | Llamado por falta de presión de aceite. EDS fuera de servicio. Bajón en la tensión del motor por ausencia del flujo eléctrico, se resetea y se hace girar el motor en vacío para revisar funcionamiento |
| 10/03/2015 | Llamado por temperatura máxima de despacho. EDS fuera de servicio. Falta presión de aceite. Se revisa ventilador 1 y 2, se revisan presiones y se hace girar motor principal en vacío para subir la presión de aceite |

Primero se especificó el equipo y la estación donde se encuentra ubicado, luego la falla presentada y por último la secuencia de eventos de la falla en orden cronológico.

A continuación se realizó el árbol lógico RCA para la falla mencionada:

Figura 20. Árbol lógico RCA para baja presión de aceite

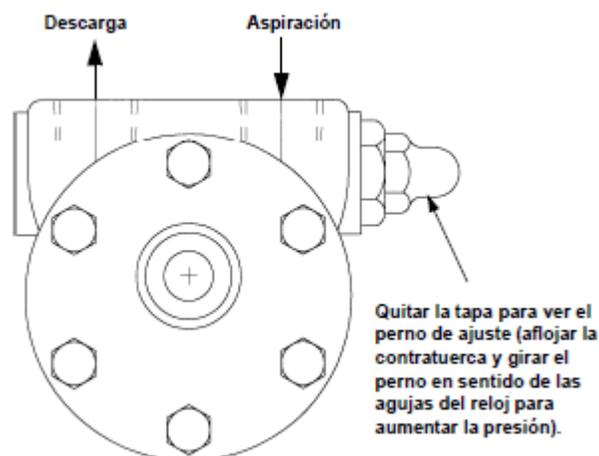


En la figura 20 como eje central del árbol esta la falla, luego se encontraron las posibles causas de la falla, es una lluvia de ideas, la cual se realizó en conjunto con la junta multidisciplinaria de la empresa soporte, las posibles causas que se descartaron son las que están tachadas con una línea en la mitad y al final queda solo una posible causa. Lo anterior se realizará con todas las fallas a las que se les hará el análisis causa raíz, pero a manera de ejemplo solo se mostraran todas las posibles causas con la actual falla.

Luego de un arduo análisis con la junta multidisciplinaria, teniendo en cuenta la secuencia de eventos e información del manual, se concluyó la causa raíz física, humana y del sistema.

La solución a esta falla es ajustar la presión del aceite lubricante e incluirla en las rutinas de ajuste, en la figura 21 se indica cómo debe realizarse el ajuste de la presión.

Figura 21. Bomba de aceite lubricante



Fuente: GRUPO GALILEO. Microbox, Manual del Usuario. Argentina. 08/04/2002

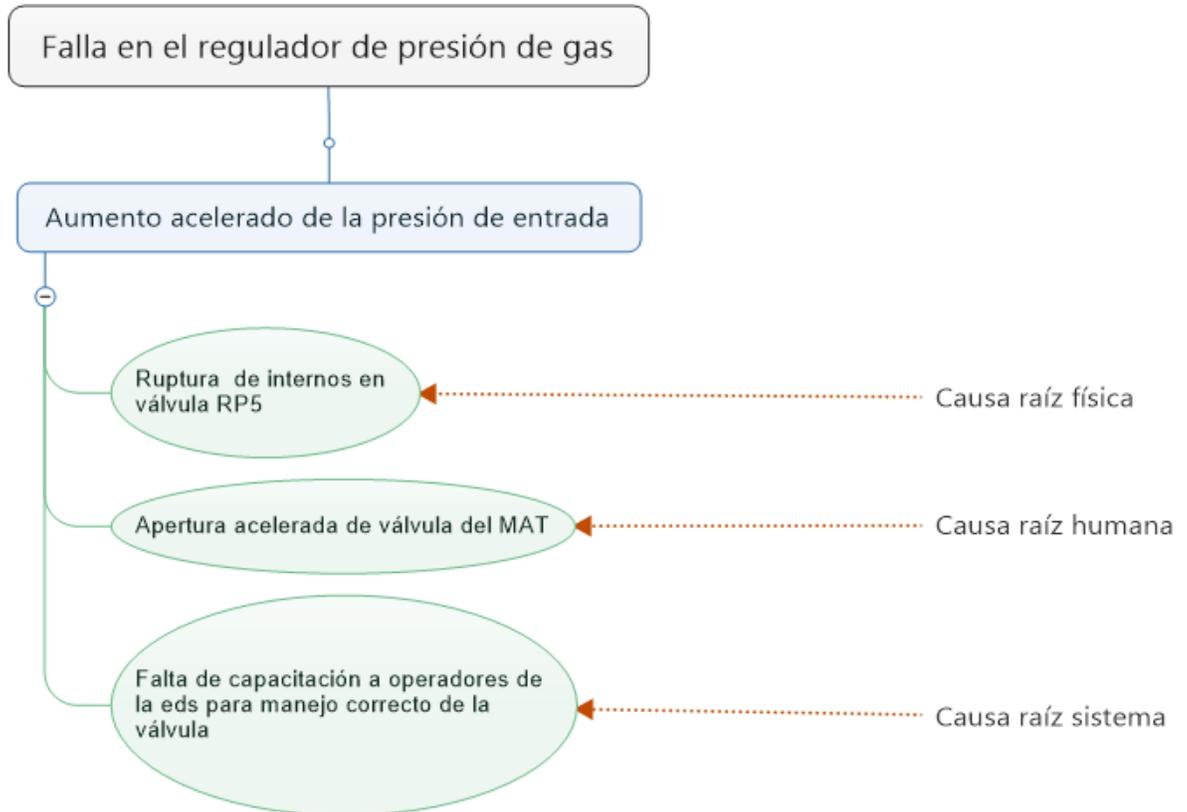
En los análisis de las fallas que restan por hacer se omitirá información, como la lluvia de ideas y la metodología como se llevó a cabo para el análisis causa raíz, ya que es la misma metodología que se describió en el análisis de la falla anterior.

4.2.2 Análisis causa raíz de falla en regulador de presión de gas. Esta falla se presenta en la ERM (estación de regulación y de medición), en los equipos Nanobox Booster.

Tabla 2. Secuencia de eventos falla en regulador de presión de gas

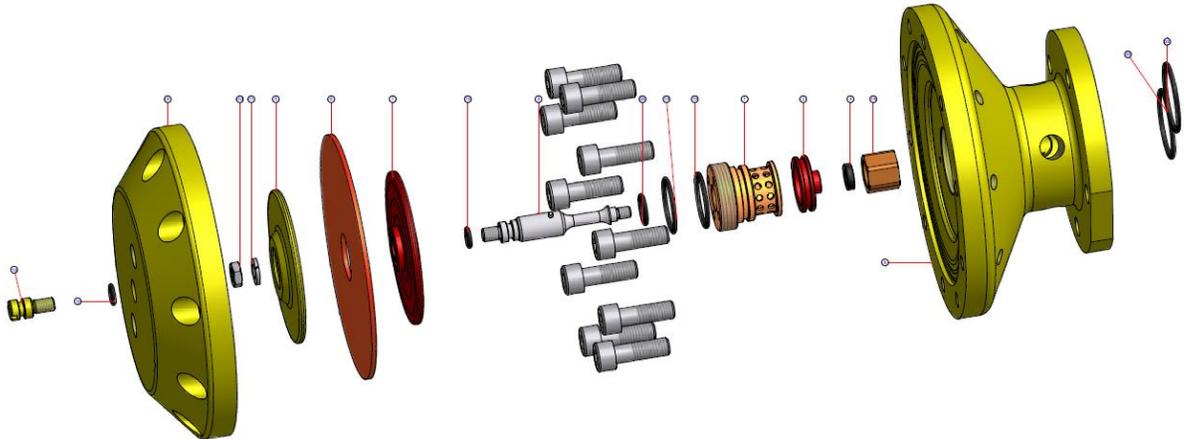
| FALLA PRESENTADA | |
|--------------------------------------|---|
| Falla en regulador de presión de gas | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS |
| 7/01/2015 | Alarma por presión de entrada, se regula presión con manómetro y display |
| 31/01/2015 | Maxima presión de entrada, se regula presión |
| 6/02/2015 | Baja presión de entrada, se revisa conexión |
| 6/02/2015 | Baja presión de entrada, se regula presión |
| 9/02/2015 | Alarma por presión mínima de entrada, se encontró que uno de los tanques de suministro está vacío y el otro que está lleno deshabilitado por fuga en manguera manifold, se encuentra oring dañado, se conecta otra manguera y se habilita el tanque. El tanque desocupado tiene paso en alguna válvula, fuga de gas |
| 9/02/2015 | Equipo presenta alarma por máxima presión de entrada y mínima ya que se está regulando presión con válvula de blow down ya que el RP5 no está funcionando, toca cambiar, el equipo trabaja 1 hora u hora y media y ocurre de nuevo lo mismo |
| 14/02/2015 | Fuga de gas en oring en tanque de almacenamiento, se cura fuga, se habilita y se procede a regular presión de entrada en el blowdown ya que válvula R05 no está funcionando la cual ya se reportó en visita anterior para que agilice su salida y cambio |

Figura 22. Árbol lógico RCA para falla en regulador de presión de gas



La solución raíz a la falla en el regulador de presión de gas, es capacitar a los operadores de las EDS, esto con la finalidad de que realicen correctamente la apertura de las válvulas de los equipos MAT, esto previene el daño de las válvulas RP5, válvulas que además tienen un valor económico elevado.

Figura 23. Plano regulador RP05



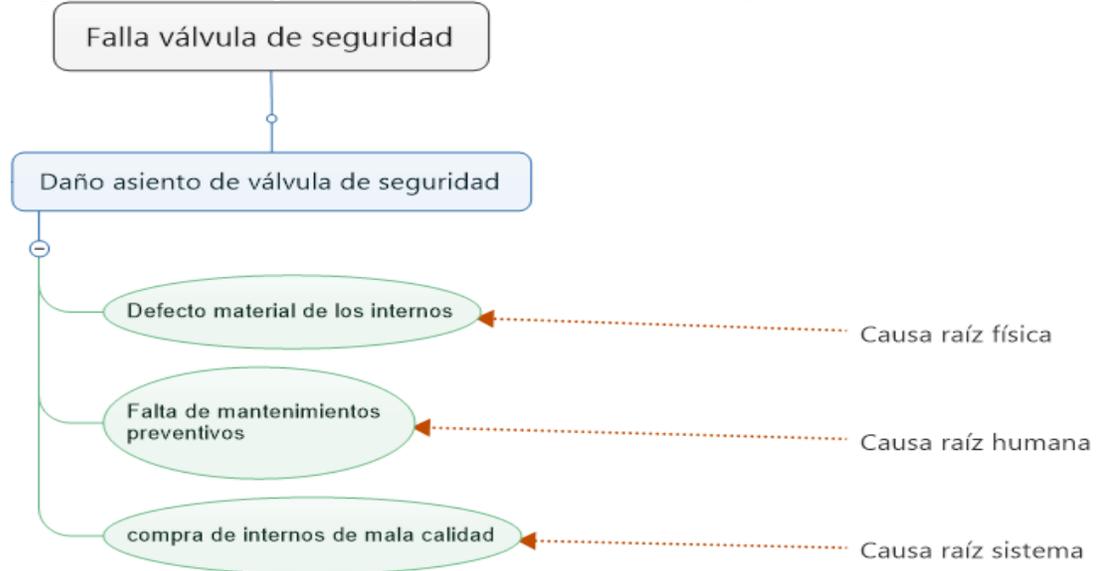
Fuente: GRUPO GALILEO. Plano regulador RP05. Argentina. 17/04/2007

4.2.3 Análisis causa raíz de falla válvula de seguridad. Estas válvulas de seguridad se encuentran antes del inicio de cada etapa de compresión.

Tabla 3. Secuencia de eventos falla válvula de seguridad

| | | |
|------------------------------------|--|--------------|
| CODIGO EQUIPO: BOG-QUIR-COM-MXS-01 | | EDS: Quiroga |
| FALLA PRESENTADA | | |
| Falla valvula de seguridad | | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS | |
| 2/10/2014 | Cambio asiento de valvula de seguridad porque se encontraba dañada | |
| 15/10/2014 | Cambio de Asiento de la valvula de seguridad, regulador de presion y codo | |
| 13/11/2014 | Equipo deshabilitado. EDS fuera de servicio . valvula de seguridad presenta problemas, se repara | |

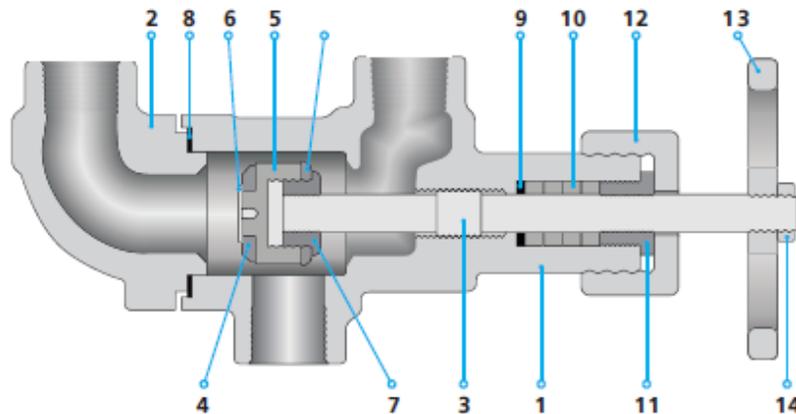
Figura 24. Árbol lógico RCA para falla válvula de seguridad



La solución raíz a la falla de válvulas de seguridad, es realizar pruebas de calidad a los internos (sellos; retenedores) de las válvulas, para seleccionar los internos que cumplan con las especificaciones requeridas, además de realizar su cambio antes de que lleguen a su tiempo de vida útil, para que no se vea afectada la válvula, ya que es un elemento que tiene un valor económico más alto.

Figura 25. Partes de la válvula de seguridad

| Nº | Nombre de la pieza | Material | Nº | Nombre de la pieza | Material |
|----|------------------------|------------------|----|--------------------|------------------------|
| 1 | Cuerpo | ASTM A 216WCB | 8 | Junta | Amianto grafit./teflón |
| 2 | Codo | ASTM A 216WCB | 9 | Arandela prensa | AISI C1040 / 416 |
| 3 | Vástago | AISI C1040 / 416 | 10 | Empaquetadura | Amianto grafit./teflón |
| 4 | Disco | AISI C1040 / 416 | 11 | Niple prensa | AISI C1040 / 416 |
| 5 | Anillo de cierre | Teflón | 12 | Tuerca prensa | AISI C1040 / 416 |
| 6 | Retén anillo de cierre | AISI C1040 / 416 | 13 | Volante | Fundición gris |
| 7 | Tuerca disco | AISI C1040 / 416 | 14 | Bulón | Acero carbono |



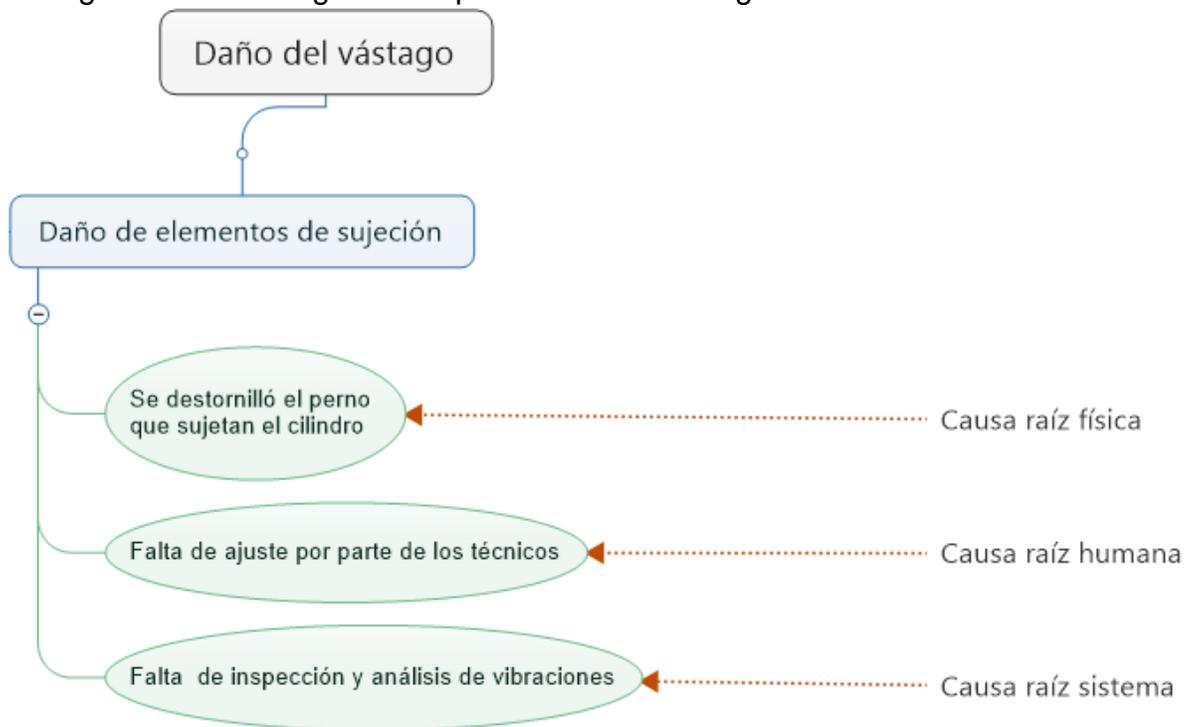
Fuente: GRUPO GALILEO. Microbox, Manual del Usuario. Argentina. 08/04/2002

4.2.4 Análisis causa raíz daño de vástago. Los vástagos son una de las principales piezas del sistema de compresión

Tabla 4. Secuencia de eventos daño de vástago

| | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|
| CODIGO EQUIPO: BOG-BRIC-COM-NXB-01 | | EDS: Briceño(los clubes) |
| FALLA PRESENTADA | | |
| Daño de vástago | | |
| FECHA | SECUENCIA DE EVENTOS | |
| 30/01/2015 | Cilindro de tercera etapa caido, esta recostado el piston, rayada la camisa y el vástago, dañado en pórtá steap seal(donde su ubican los sellos de vástago), se cambian todos los elementos. Se adiciona 1/4 de aceite | |
| 15/02/2015 | Vástago de tercera etapa deteriorado y ademas paso de gas por las etapas 3 y 4, se remplaza vástago | |

Figura 26. Árbol lógico RCA para daño del vástago

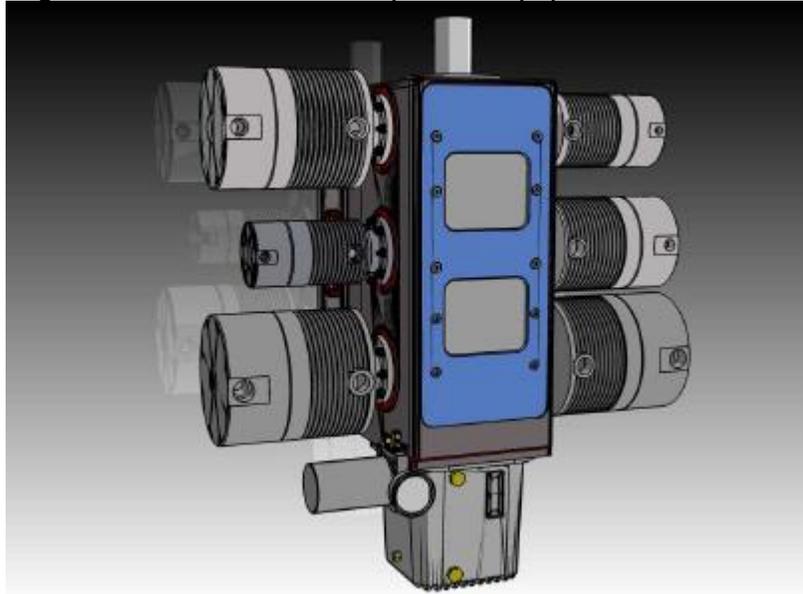


Los daños en el vástago no son fallas con alta ocurrencia pero si tienen una severidad muy grande en los equipos, ya que son uno de los repuestos principales del sistema de compresión y el daño de este incurre en daños de más repuestos, además su proceso de desmonte es complejo, igualmente son elementos costosos y de importación ya que son de alta precisión y solo los vende el fabricante de los compresores.

La solución a estas fallas son dos, la primera es incluir en los programas sistemáticos el ajuste de los elementos del sistema de compresión; la segunda es realizar análisis de vibraciones para conocer si alguno de los elementos de ajuste se encuentran desajustados, ambas soluciones deben hacerse en conjunto.

En la figura 27 se puede observar el conjunto completo del sistema de compresión de un compresor Nanobox, en él se debe ajustar la tapa superior de los cilindros y la base del cilindro del frame, el que se ve de color azul en la figura 27 es el frame.

Figura 27. Sistema de compresor equipo nanobox



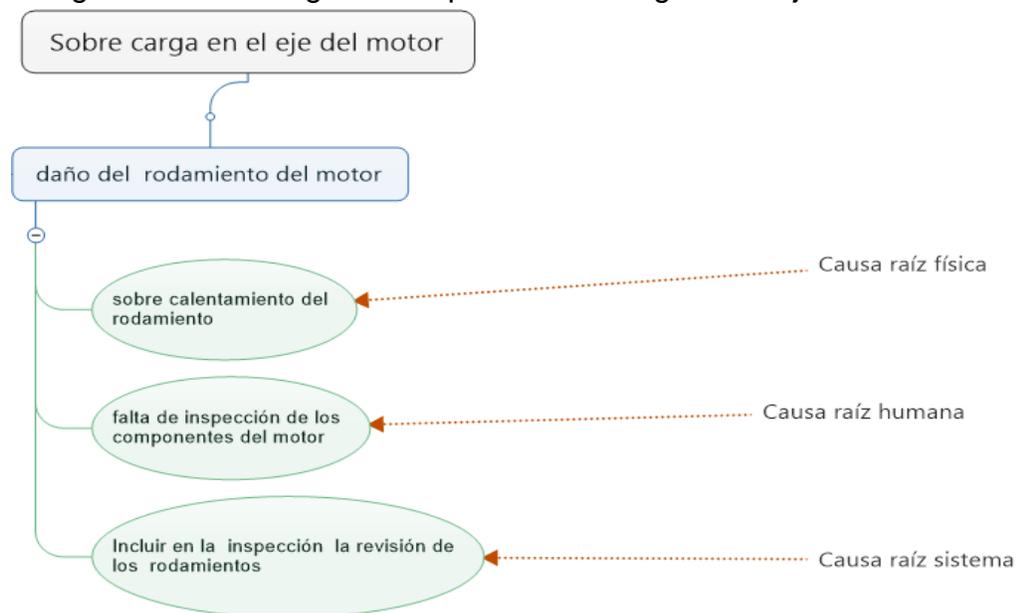
Fuente: GRUPO GALILEO. Catálogo de parte compresor NX 45. Argentina. 15/06/2010

4.2.5 Análisis causa raíz de la sobre carga en el eje del motor. El subsistema de esta falla como su nombre lo dice es el motor, este subsistema por lo general no se inspecciona.

Tabla 5. Secuencia de eventos sobre carga en el eje del motor

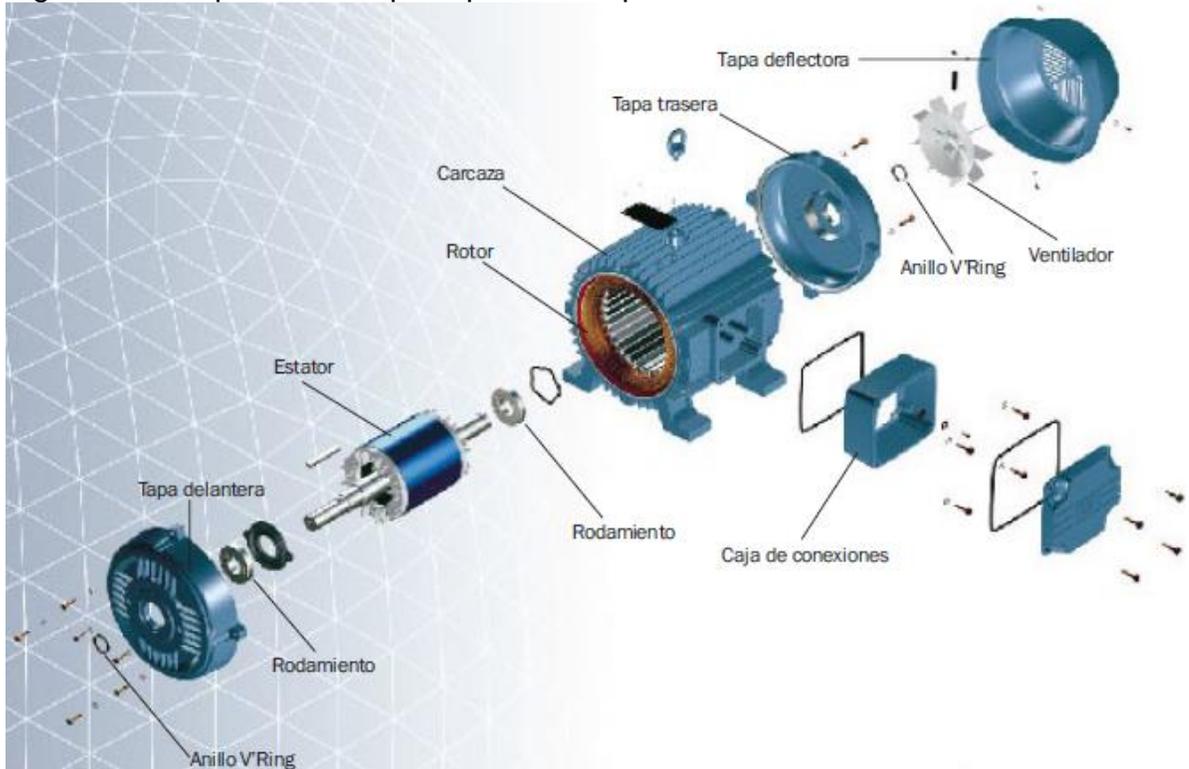
| FALLA PRESENTADA | |
|--------------------------------|---|
| Sobrecarga en el eje del motor | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS |
| 7/10/2014 | falla arranque suave por problemas de presión de entrada. |
| 25/01/2015 | EDS fuera de servicio. Alarma por falla arranque suave, además presión mínima de aceite. Se resetea alarma, ajuste a presión de entrada y se monitorea relación de compresión y temperaturas |
| 7/02/2015 | Se encontro valvula de entrada de gas cerrada, se abre valvula. Nota: en el historial de alarma se evidencia falla de arranque suave por problemas electricos |
| 28/02/2015 | EDS fuera de servicio. Alarmado por falta de presión de aceite, se encuentra con nivel bajo de aceite, se adiciona 3/4 de aceite |
| 12/03/2015 | EDS Fuera de servicio. Alarma falla arranque suave, presión de aceite minima y presión de entrada en 30 bar. Se resetean alarmas, se regulan presiones y se llena almacenamiento externo |
| 18/03/2015 | Llamado por falta de presión de aciete. EDS fuera de servicio. Bajon en la tensión del motor por ausencia del flujo electrico, se resetea y se hace girar el motor en vacio para revisar funcionamiento |

Figura 28. Árbol lógico RCA para sobre carga en el eje del motor



La sobrecarga en el eje del motor, es una falla difícil de detectar, esto se debe a que ninguno de los sensores o sistemas de alarmas del equipo pueden detectarlo, la manera correcta para detectar y prevenir esta falla es por medio de un análisis termográfico y/o un análisis de vibraciones, debido a que es un sobrecalentamiento en los rodamientos del motor, por medio de una cámara termográfica o un vibrometro se lograra identificar, además no se necesitara el desmote del motor. Actualmente la empresa cuenta con cámaras termografías, pero no está realizando este mantenimiento predictivo, debido a que no se tiene personal capacitado y certificado en estos equipos.

Figura 29. Despiece Motor principal de compresor microbox



Fuente: GRUPO GALILEO. Microbox, Manual del Usuario. Argentina. 08/04/2002

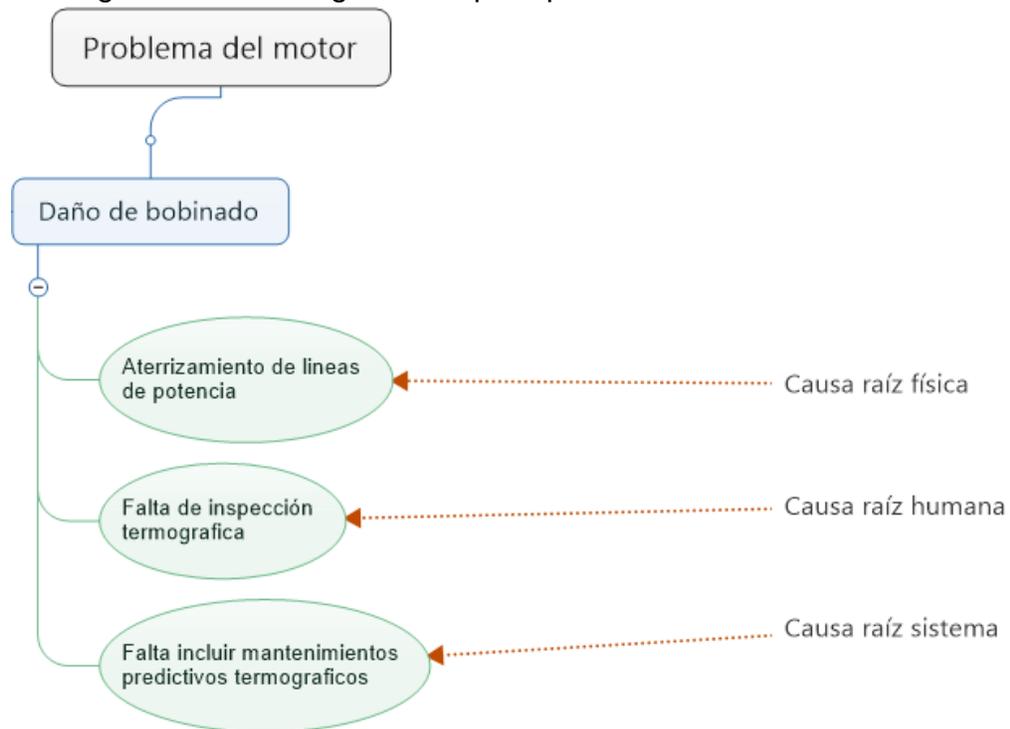
En la figura anterior, se pueden observar los rodamiento que fallaron del motor, como se ve sin un análisis termográfico es difícil conocer una sobre temperatura en estos elementos, el eje que acompaña a estos rodamientos esta acoplado con el eje del sistema de compresión, por lo cual está directamente implicado con el proceso de compresión.

4.2.6 Análisis causa raíz problema del motor. Cuando se menciona la falla problema del motor, se quiere decir que en si el conjunto en general del motor no funciona.

Tabla 6. Secuencia de eventos problema del motor

| CODIGO EQUIPO: MED-PNOR-COM-ASP-01 | | EDS: Portal Norte |
|------------------------------------|--|-------------------|
| FALLA PRESENTADA | | |
| Problemas del motor | | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS | |
| 1/02/2015 | acompañamiento a la gente de distracom para el montaje e instalacion de motor principal | |
| 6/02/2015 | se encuentra en corto el motor principal este fue diagnosticado por el proveedor de HR bobinados se desmonta y se lleva al taller, tambien se encunetra en corto en la linea del arrancador, revisa y retira, la gente de inversores y controladores para reparacion | |
| 10/02/2015 | llamada por falla en arrancador se encontró problemas en la válvula de admisión del equipo se desarma y se ajusta se revisa check de 4 etapa se saca aceite del compresor y se adiciona de nuevo instalación de válvulas de bola en drenaje del equipo revisión de check de visores de lubricación | |
| 17/03/2015 | problemas motor principal y arrancador suave, la gente de HR bobinados solo presto el servicio de desmontaje y reparación | |

Figura 30. Árbol lógico RCA para problemas del motor



El daño en el bobinado es una falla difícil de detectar, por esa razón es fundamental realizar análisis termográficos para la prevención de esta falla, se puede concluir con el análisis de falla de la sobrecarga en el eje del motor y problemas del motor, en el

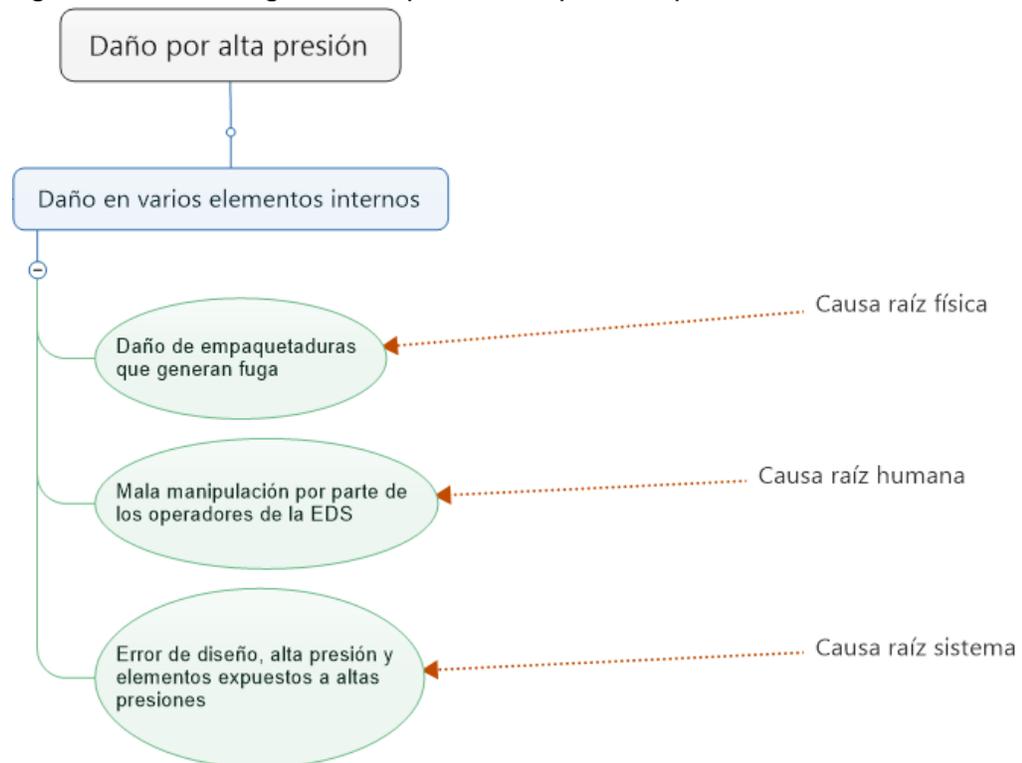
análisis termográfico el motor uno de los subsistemas más importante en este análisis.

4.2.7 Análisis causa raíz daño por alta presión en surtidor. Esta falla se presenta en el subsistema mecánico de los surtidores, en si es una falla que está totalmente relacionada con los compresores, porque los compresores son los que le dan la presión al Gas Natural que entra a los surtidores.

Tabla 7. Secuencia de eventos daño por alta presión en surtidor

| | | |
|-------------------------------------|--|--------------|
| CODIGO EQUIPO: BOG-SALI-SURT-EMB-02 | | EDS: Salitre |
| FALLA PRESENTADA | | |
| Daño por alta presión | | |
| Fecha | SECUENCIA DE EVENTOS | |
| 21/10/2014 | verificación surtidor 2 manguera 4 fuga en válvula breakway | |
| 6/01/2015 | se intervienen surtidor 2 por continua falla de presión, se cambian válvulas | |
| 23/01/2015 | mantenimiento de válvula solenoide surtidor 2 manguera 4, limpieza general y | |
| 9/02/2015 | fuga en válvula breakaway surtidor 2 manguera 3 | |

Figura 31. Árbol lógico RCA para daño por alta presión en surtidor



La falla de los elementos internos por la alta presión se debe principalmente por la calidad de estos, este problema ocurre seguido en los surtidores, una de las

soluciones a este continuo daño es un análisis de resistencia a los internos que están presentado las fallas. Es un mantenimiento predictivo que permitirá prevenir fallas futuras.

5. NUEVOS FORMATOS DE MANTENIMIENTO

La empresa contaba con dos formatos de mantenimiento, reporte de mantenimiento y hoja de vida de equipos, pero en este último solo se reportaban las emergencias, los formatos cumplían con las expectativas del sistema de calidad, pero carecían de información útil para generar estudios y procesos de mantenimiento que permiten optimizar recursos, los formatos implementados en la empresa fueron monitoreados por una junta multidisciplinaria la cual nos dio diferentes puntos de vista para llegar a plasmar lo que a todos les interesaba en los diferentes formatos.

Los cinco principales formatos de mantenimiento en los cuales se enfocó la junta fueron:

- ✓ Ficha técnica
- ✓ Solicitud de trabajo
- ✓ Orden de trabajo
- ✓ Hoja de vida
- ✓ Reporte de trabajo

Sin embargo la parte operativa y de mantenimiento pidió elaborar un formato competente:

- ✓ Variables operacionales

5.1 FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS

Con el fin de que todos los técnicos se familiarizaran con los equipos se generó una ficha técnica por estación, para conocer parámetros y poder tener un mejor conocimiento de los equipos y así generar un mejor diagnóstico.

Como se observa el formato cuenta con imágenes que permiten identificar el compresor y surtidores fácilmente, también cuenta con su código, serie, modelo entre otras, con el fin de identificar de forma precisa el tipo de máquina a la cual se interviene, a continuación se mostrara un ejemplo con la estación Andes que permite conocer la utilización de esta dentro de la empresa.

Los formatos de las fichas técnicas diligenciados se encuentran en el Anexo L

Figura 32. Ficha técnica equipos por estación de servicio

| | | | | | |
|---|--|----------------------------------|--|--|--|
|  | | FICHA TECNICA DE EQUIPOS | | CODIGO:FOT - MAN -15 Version 1 Pagina: 1de 2 | |
| IMAGENES EQUIPOS | | | | | |
| Compresor | | | Surtidor | | |
|  | | |  | | |
| Dimensiones: Largo: 4315 mm Ancho: 2431 mm Alto: 2925mm | | | Dimensiones: Largo 1100 mm Ancho: 450 mm Alto: 2050 mm | | |
| CLIENTE: Autogas | | | EDS: Andes | | |
| DIRECCION: Carrera 80 N° 57L-15 Sur | | | CONTACTO: Oscar Cardenas | | |
| DATOS COMPRESOR | | | | | |
| CODIGO | | MODELO | | SERIE | |
| BOG-ANDE-COM-MXS-01 | | MXS 132-3-1500 | | MX 359 | |
| FECHA PUESTA EN MARCHA | | FRAME | | ORG CERTIFICACION | |
| | | | | CAPAC LITROS DE ALMACENAMIENTO | |
| | | | | 1000 | |
| PRESION DE ASPIRACION MAXIMA | | PRESION DE ASPIRACION MIN | | MAX PRESION REGULADA | |
| 17 Bar | | 13 Bar | | 17 Bar | |
| ESPECIFICACION | | REGISTRO | | OBSERVACIONES | |
| MODELO | | MARCA | | SN SERIAL | |
| WEGQA84802 | | WEG | | 101105 | |
| VOLTAJE | | AMPERAJE | | RPM | |
| 440 | | 138 | | 1485 | |
| DATOS DE SURTIDORES - N° DE SURTIDORES | | | | | |
| CODIGO SURTIDOR 1 | | MODELO | | MATRICULA | |
| BOG-ANDE-SURT-EMB-01 | | EMB-06100C02 | | BVG079/3 | |
| | | TENSION ELECTRICA | | PRESION MAXIMA DE ENTRADA | |
| | | 220 V | | 25 Mpa | |
| | | | | PRESION DE SERVICIO | |
| | | | | 20 Mpa | |
| CODIGO SURTIDOR 2 | | MODELO | | MATRICULA | |
| BOG-ANDE-SURT-EMB-02 | | EMB-06100C01 | | BVG079/3 | |
| | | TENSION ELECTRICA | | PRESION MAXIMA DE ENTRADA | |
| | | 220 V | | 25 MPa | |
| | | | | PRESION DE SERVICIO | |
| | | | | 20 Mpa | |
| CODIGO SURTIDOR 3 | | MODELO | | MATRICULA | |
| | | | | | |
| | | TENSION ELECTRICA | | PRESION MAXIMA DE ENTRADA | |
| | | | | PRESION DE SERVICIO | |
| | | | | | |
| CODIGO SURTIDOR 4 | | MODELO | | MATRICULA | |
| | | | | | |
| | | TENSION ELECTRICA | | PRESION MAXIMA DE ENTRADA | |
| | | | | PRESION DE SERVICIO | |
| | | | | | |
| UNIDAD DE ALMACENAMIENTO | | | | | |
| Seriales cilindros de cada etapa del compresor: | | | N° DE ETAPAS | | |
| PRIMERA C1: C78612 | | | SEGUNDA C2: C82145 | | |
| TERCERA C3: C78611 | | | CUARTA C4: | | |
| No del detector de mezclas explosivas: | | | | | |

Figura 32. (Continuación)

| | | |
|---|---------------------------------|--|
|  | FICHA TECNICA DE EQUIPOS | CODIGO:FOT - MAN -15 Version 1 Pagina:2 de 2 |
| UNIDAD DE ALMACENAMIENTO (SERIALES) | | |
| CILINDRO 1: 427576 | CILINDRO 2: 427513 | |
| CILINDRO 3: 427586 | CILINDRO 4: 427584 | |
| CILINDRO 5: 427280 | CILINDRO 6: 427512 | |
| CILINDRO 7: 417587 | CILINDRO 8: 427504 | |
| CILINDRO 9: 427285 | CILINDRO 10: 427279 | |
| CILINDRO CO2: 1657 | | |
| OTROS MARCA Y SERIALES | | |
| Válvulas de Seguridad: Fonola | Medidor: 20591288 Elster | |
| Valvulas de exceso flujo: Union Sua | Corrector: Mercury 38400 | |
| | | |
| FIRMA DE ADMINISTRADOR EDS | FIRMA DE SUPERVISOR SURPETROIL | |

5.2 SOLICITUD DE TRABAJO

Para lo solicitud de trabajo se buscó simplificar el formato de tal manera que cualquier persona pueda generarla y fuera entendible para la persona encargada y luego con esta generar la orden de trabajo, la solicitud de trabajo cuenta con un número el cual es único y le precede al número de la orden de trabajo, con el fin de generar trazabilidad en los mantenimientos, también cuenta con el tipo de equipo si la persona no está muy familiarizada y una descripción de la falla, a continuación se muestra un ejemplo de cómo se debe diligenciar.

5.3 ORDEN DE TRABAJO

Continuando con el proceso de mantenimiento se genera la orden de trabajo, este proceso es posterior a la solicitud de trabajo, ordena al técnico el proceso a seguir y el tipo de falla al que se debe enfrentar, con el fin de que el técnico se vaya con la idea de lo que va realizar y este en la capacidad de solucionarla en el menor tiempo posible, este formato también le indica si debe llevar equipos o herramientas fuera de la caja de herramientas que tiene asignada, para disminuir tiempos por falta de equipamiento, a continuación se muestra un ejemplo de este formato.

5.4 REPORTE DE TRABAJO

Este formato va posterior a la orden de trabajo y especifica el daño real y la solución de la falla, cuenta con un análisis detallado por parte del técnico con el fin de conocer diferentes variables del mantenimiento, como lo son las temperaturas y presiones entre etapas, rendimiento y consumo de energía entre otras variables. Estas se ubican más adelante en el formato variables de operación, la otra información que se debe diligenciar está en la hoja de vida de los equipos.

El formato “reporte de trabajo” es fundamental para la optimización, ya que permite dar información detallada del equipo y sus diferentes variables al ocurrir una falla, lo cual permiten determinar posibles causas de fallas antes de que ocurran, a continuación se muestra un ejemplo de este formato.

Los formatos diligenciados de los reportes de trabajo se encuentran en el anexo M

5.5 HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

Este formato como su nombre lo indica es un historial de la vida de la máquina, la cual permite observar diferentes tipos de mantenimientos, cantidad de fallas, ocurrencia de fallas y repetitividad de fallas, este formato es el más importante ya que permite realizar un análisis detallado.

Este formato contiene la fecha del reporte de mantenimiento en orden cronológico para su correcto análisis; después el número de orden de trabajo con el fin de poder profundizar en los detalles, así mismo están las horas de trabajo del equipo, esto nos permite planear el próximo mantenimiento preventivo, lo cual es parte fundamental en los mantenimientos; después está la descripción de los mantenimientos, para lograr hacer el análisis a los trabajos realizados, evita repetitividad de fallas.

Por ultimo en la hoja de vida se encuentra el tiempo de llegada de técnicos, tiempos de mantenimiento y tiempo de parada de los equipos, esto permite obtener los indicadores de mantenimiento, los cuales serán explicados en los próximos capítulos.

Figura 36. Ejemplo de Hoja de vida de EDS

|  | | HOJA DE VIDA DE EDS | | | | | | | | | | CÓDIGO: XXXX | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------------|------------------------------|-------|-----------|-----------------|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | VERSIÓN: 1.0 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | PÁGINAS: 1 DE 1 | | | | | |
| CODIGO EQUIPO: BOG-AV68-COM-MXS-01 | | | | | | CLIENTE: TERPEL | | | | | | | | | | | |
| Fecha | N° Orden de Trabajo | Horas de trabajo del equipo | Mantenimiento presentado en: | | | | | Descripción del mantenimiento | Hora llamada | Hora llegada | Hora salida | Hora parada | Hora puesta en marcha | Tiempo de llegada del técnico | Tiempo mantenimiento | Tiempo fuera de servicio | RESPONSABLE |
| | | | Compresión | Motor | Eléctrico | ERM | Almacenamiento | | | | | | | | | | |
| 23/01/2015 | 3456 | 1432 | | | X | | | Falla eléctrica en elementos de control, se procedió a reiniciar el PLC | 1:30 | 2:40 | 4:40 | N/A | N/A | 1:10 | 2:00 | N/A | Jefferson Garcia |
| 4/02/2015 | 3657 | 1600 | x | x | x | x | | Service de 1500 horas | N/A | 8:00 | 15:00 | 8:00 | 14:00 | N/A | 7:00 | 6:00 | Juan Naranjo |
| | | | | | | | | | | | | | | 0:00 | 0:00 | 0:00 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0:00 | 0:00 | 0:00 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0:00 | 0:00 | 0:00 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0:00 | 0:00 | 0:00 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0:00 | 0:00 | 0:00 | |

5.6 VARIABLES DE OPERACIÓN

Este formato como se indicó anteriormente fue elaborado por petición del área de operaciones y mantenimiento de la empresa, con el fin de maximizar los análisis de estas variables, el formato solo aplica para los compresores, con esto se busca prevenir fallas futuras, observando trazabilidad de variables específicas como lo es el voltaje, la corriente, las temperaturas entre etapas, presiones entre etapas y la relación entre estas.

El formato además permitirá conocer las condiciones en las cuales los técnicos han dejado los equipos, debido al tamaño del formato se dejara adjunto en el CD en el Anexo D (en este anexo se adjuntarán todos los formatos de mantenimiento).

6. PROGRAMAS SISTEMÁTICOS

Con el fin de generar un programa de actividades útil para la empresa y cambiar los mantenimientos correctivos por preventivos se realizaron programas sistemáticos de inspección, lubricación, ajuste y limpieza; estas actividades se realizaban en la empresa pero no contaban con procedimientos y se manejaban por medio de una lista de chequeo y la adquisición de algunas variables, pero en este documento no se especificaban límites, la cual era subjetiva, pues dependiendo del técnico que realizaba la actividad podría ser útil o no, estas rutinas eran diarias, semanales y mensuales, a continuación se adjunta el documento mencionado:

Figura 37. Formato rutinas de inspección

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|--------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------|---|-------------------|--|--|
|  | | REPORTE DE VISITA TECNICA EN EDS | | | | CODIGO: FOT - MANT - 27 Version: 11 Pág 1 de 1 | | | | | | | | | |
| DATOS GENERALES | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cliente: | | EDS: | | Ciudad: | | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">No</div> | | | | | | | | | |
| Marca: | Equipo S.N.: | Tecnico: | Fecha: | | | | | | | | | | | | |
| Horas de Marcha: | | Hora Entrada: | | FIRMA EDS | | | | | | | | | | | |
| Numero de Ruta: | | Hora Salida: | | FIRMA EDS | | | | | | | | | | | |
| EPP | <input type="checkbox"/> Tapa Oidos | <input type="checkbox"/> Chaleco | <input type="checkbox"/> Gafas | <input type="checkbox"/> Casco | <input type="checkbox"/> Overol | <input type="checkbox"/> Botas | <input type="checkbox"/> Guantes | <input type="checkbox"/> Barbuquejo | Otro: _____ | | | | | | |
| TIPO DE RUTINA: | | <input type="checkbox"/> Rutina Diaria | | <input type="checkbox"/> Rutina Semanal | | <input type="checkbox"/> Rutina Mensual | | | | | | | | | |
| RUTINA DIARIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceite | | Salida | | ERM | 1era.Etapa | | 2da.Etapa | | 3era.Etapa | | 4ta.Etapa | | Presion de | | |
| Presion | Tempera | Presion | Temp | Presion | Presion | Tempera | Presion | Tempera | Presion | Tempera | Presion | Tempera | Entrada | | |
| PSI | c° | bar | c | bar | bar | c° | bar | c° | bar | c° | bar | c° | bar | | |
| Purga Compresor: | | <input type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | Reposicion Aceite/Compresor: _____ | | gls | Reposicion Aceite Combustion: _____ | | Temperatura Motor Combustion: _____ | | | | | | |
| RUTINA SEMANAL (Realice Rutina Diaria) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presion de Llenado en Mangueras (bar) | | Manguera 1. | Manguera 2. | Manguera 3. | Manguera 4. | Manguera 5. | Manguera 6. | Manguera 7. | Manguera 8. | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revision Pase de Gas | | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | | |
| Verificar: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lubricacion Secundaria a 1700 RPM | | | | <input type="checkbox"/> Seg | Verificacion Goteo Lubricadores | | | | <input type="checkbox"/> Seg | | | | | | |
| Fugas de Gas en Compresor | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Correccion ? | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Donde: _____ | | | | | |
| Fugas de Gas en Surtidor | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Correccion ? | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Donde: _____ | | | | | |
| Fugas de Aceite en Compresor | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Correccion ? | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Donde: _____ | | | | | |
| Fugas de Aceite en Surtidor | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Correccion ? | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Donde: _____ | | | | | |
| Purga Blow Down | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | MOTOR COMBUSTION | | | | | | | | | | |
| Purga Filtro de Surtidores | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Verificacion Aspas y Correas | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Verificacion y Ajuste de Tomilleria | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | | |
| Revision y Ajuste Conexiones Electricas | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Funcionamiento Motor de Arranque | | | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Vaso Lubricador Motor de Arranque | | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | | |

Figura 37. (Continuación)

| RUTINA MENSUAL (Realice Rutina Diaria y Semanal) | | | | | | | | | | | |
|--|----|----|---|----|----|-----------------------------------|-----|-----|---------------------------|----|----|
| Ejecute y Verifique: | | | | | | | | | | | |
| Limpeza Malla Indicador de Nivel | SI | NO | Limpeza Filtro Respirador Carter | SI | NO | Abrazaderas | SI | NO | | | |
| Lavado General del Equipo | SI | NO | Verificar Bateria Respaldo 24 VAC | SI | NO | Tablero Electrico | SI | NO | | | |
| Purga Filtro Particulas ERM | SI | NO | Verificar Existencia y Rotulado V. Exces de Flujo | SI | NO | Soportes Compresor | SI | NO | | | |
| Reposicion SAE 10 Vaso Lubricador | SI | NO | Verificar Alarma Audible y Visible | SI | NO | Soportes Motor | SI | NO | | | |
| Purga Pulmon de Control | SI | NO | Verificar Iluminacion Interna | SI | NO | Instalacion de Tornillos: | SI | NO | | | |
| Paradas de Emergencia | SI | NO | Verificar succion y estado de aspas ventilador/Intercambiador | SI | NO | | | | | | |
| FECHA PRUEBAS HIDROSTATICAS | | | | | | Verificacion de Surtidores | | | | | |
| FECHA VENCIMIENTO BALA CO2 | | | | | | Break-away | SI | NO | | | |
| TODOS LOS ACTUADORES ESTAN ACOPLADOS | | | | | | Manometros | SI | NO | | | |
| VERIFICACION DE VOLTAJE Y AMPERAJE | | | Amperaje | | | Voltajes | | | Mangueras | SI | NO |
| | | | R | S | T | R-S | R-T | S-T | Valvula 3 Vias | SI | NO |
| Breaker Principal | | | | | | | | | Selector o Microswitch | SI | NO |
| Motor Ventilador Principal 1 | | | | | | | | | Display | SI | NO |
| Motor Ventilador Principal 2 | | | | | | | | | Teclado | SI | NO |
| Motor Ventilador Auxiliar | | | | | | | | | Valvula de Llenado | SI | NO |
| Salida a Compresores | | | | | | | | | Limpeza Interna y Externa | SI | NO |

Los programas sistemáticos de mantenimiento son fundamentales para lograr un mantenimiento planificado, facilitan la detección de posibles fallas y ayudan prevenirlas. Dentro de las ventajas de los programas sistemáticos de mantenimiento están:

- ✓ Maximizar la disponibilidad de equipos para que siempre estén aptos y en condición de operación
- ✓ Preservar el valor de las instalaciones, optimizando su uso y minimizando el deterioro y depreciación
- ✓ Disminuir los paros imprevistos de producción ocasionados por fallas inesperadas, tanto en los equipos como en las instalaciones.
- ✓ Lograr la creación de un sistema de mantenimiento capaz de alcanzar metas en la forma más económica posible
- ✓ Establecer la planeación y programación del mantenimiento para ser ejecutado antes de que se presente una falla

A continuación se muestran las frecuencias establecidas para las rutas, cada número hace referencia a una semana:

- ✓ Semanal (F1): Se refiere a las rutinas de limpieza que deben realizar los operadores de las estaciones, son sencillas y requieren poco tiempo, la frecuencia de estas rutinas fueron establecidas por la empresa
- ✓ Quincenal (F2): Se refiere a las rutinas de inspección de presiones y temperaturas, además de las rutinas de ajuste y limpieza especificadas, estipuladas según contrato
- ✓ Mensual (F4): Además de incluir las rutinas mencionadas en las quincenales, están los ajustes de conexiones eléctricas y condiciones del motor, estipuladas según contrato
- ✓ Trimestral (F13): Hace referencia a las rutas de lubricación
- ✓ Semestral (26): Se refiere a las pruebas de seguridad de acuerdo a lo establecido en la resolución 180928 que aplica a los servicios por contrato aprobado por el cliente
- ✓ Anual (52): Se refiere a las pruebas predictivas, se realizan con menor frecuencia ya que son costosas y por lo general es necesario contratar Outsourcing

Con la siguiente ecuación se convirtieron las frecuencias F2 a F4 con el fin de unificarlas, por esa razón en los balances de carga solo muestran las frecuencias F4:

$$F4 = \frac{F4 + 2 F2}{4}$$

Debido a la cantidad de equipos que tiene la empresa y a que se encuentran en diferentes ciudades del país, se tomaron los compresores críticos de la ciudad de Bogotá, además se incluyeron los surtidores que se encuentran en las EDS de estos compresores.

6.1 PROGRAMAS SISTEMÁTICOS DE INSPECCIÓN

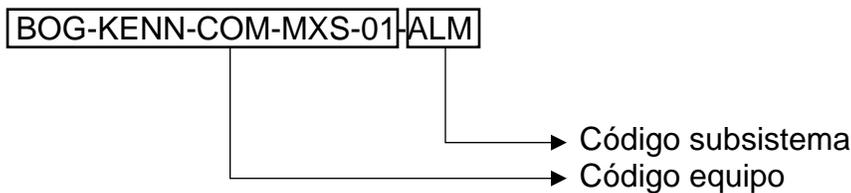
Las actividades de inspección no solo indican condiciones de los equipos, también supone ajustes, reparación o cambio de repuesto, elimina circunstancias que pueden ser causa de daños mayores o deterioro del equipo.

Para realizar este programa se dividió en tres pasos, primero se seleccionaron los puntos clave de inspección, luego se realizó la matriz de evaluación con los puntos claves de inspección para realizar un balance de cargas y por último se definieron las rutinas de inspección.

6.1.1 Puntos claves de inspección. Permite conocer las actividades a realizar a cada equipo, teniendo en cuenta cada uno de los subconjuntos.

El formato de los puntos claves de inspección está compuesto por los siguientes aspectos:

- ✓ Subsistema: hace referencia a los subconjuntos de los equipos establecidos en los capítulos anteriores, esto facilita establecer las rutas, la manera como se va a nombrar los subconjuntos es la siguiente:



La codificación de los subsistemas se manejó como lo indica el cuadro 13:

Cuadro 13. Codificación subsistemas

| Equipo | Subsistema | Código |
|-----------|--------------------|--------|
| Compresor | Compresión | COM |
| | Motor | MOT |
| | Almacenamiento | ALM |
| | Eléctrico | ELE |
| | ERM | COT |
| | Sistema de control | COT |
| Surtidor | Mecánico | MEC |
| | Eléctrico | ELS |

- ✓ Rutas, frecuencia y tiempo: hace referencia a la ruta que se debe seguir para realizar la inspección, frecuencia con que se debe ejecutar la inspección y el tiempo de duración de la inspección
- ✓ Detalle de la inspección: es la actividad que se debe realizar
- ✓ Límites: Son los rangos en los que se deben encontrar los subconjuntos
- ✓ Cantidad: número de elementos que se deben inspeccionar
- ✓ Observaciones: elemento con el que se debe realizar la inspección

Debido a la cantidad de equipos, se muestra a continuación los puntos críticos de los equipos correspondientes a la EDS de Kennedy, donde se encuentra el

compresor más crítico, los formatos de puntos críticos de inspección de los otros equipos se encuentran en el anexo E.

Cuadro 14. Puntos claves de inspección compresor de Kennedy

|  | | Puntos clave de inspeccion de EDS | | | | FOT-MAN XXX Version 1 Pagina 1 de 1 |
|---|-----------------------|-----------------------------------|---|--------------|----------|--|
| Equipo: Compresor | | Codigo: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | | | |
| Subsistema | F:(Semanas) | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones |
| | T:(Minutos) | | | | | |
| | Ruta | | | | | |
| COM (Compresión) | F= 2 T=45 Ruta=1-3 | 1 | Nivel de aceite del cárter | Add-Full | 1 | Debe estar a 3/4 de nivel de carter con la maquina detenida. Nivelado con el nivel murphy |
| | | 2 | Nivel de aceite de la bomba secundaria | Add-Full | 1 | Se debe adicionar aceite en la caja que aloja la bomba de lubricacion |
| | | 3 | Presión del aceite a la salida de la bomba | 40-75 psi | 1 | Minimo 40 psi alarma 35 psi max 75 psi con temperatura de aceite mayor a 60 C° |
| | | 4 | Presión de entrada de gas | 12- 19 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo |
| | | 5 | Temperatura del aceite en el carter | 30c° -85 c° | 1 | Informacion suministrada en el PLC |
| | | 6 | Presion de primera etapa | 40- 60 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo |
| | | 7 | Temperatura de primera etapa | <130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC |
| | | 8 | Presión de segunda etapa | 80 - 120 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo |
| | | 9 | Temperatura segunda etapa | <130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC |
| | | 10 | Presión de tercera etapa | 150 -265 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo |
| | | 11 | Temperatura de tercera etapa | < 130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC |
| | | 12 | Rendimiento m3/h | >900 m3/h | 1 | Esta información se debe tomar en el corrector electrónico escribiendo los metros cúbicos que el corrector registre en un minuto en operación plena luego se multiplica por 60 |
| | | 13 | Verificar la diferencia de presiones de los manómetros del filtro de aceite | <10 psi | 2 | Revisar los manómetros análogos |

Cuadro 14. (Continuación)

| Equipo: Compresor | | Codigo: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--|---|-------------------------|---|--|
| Subsistema | F:(Semanas) | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| | T:(Minutos) | | | | | | |
| | Ruta | | | | | | |
| | F=4 T=30 Ruta=1 | 1 | Revisión eléctrica de ventilador principal | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 1 | Revisar Voltaje y Amperaje Motor de 7.5 kW | |
| | | 2 | Revisión eléctrica de ventilador secundario | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 1 | Revisar Voltaje y Amperaje Motor de 0.75 kW | |
| | F=26 T=20 Ruta=5 | 1 | Sensor de incendio | On/off | 1 | Colocar un breaker para verificar su funcionamiento | |
| | | 2 | Sensor detector de gas metano | 10% y 20% | 2 | Buscar la información en el PLC | |
| | | 3 | Fuga en tubería de succión de gas | Presencia de burbujas | 1 | Revisar con agua jabonosa | |
| | | 4 | Fuga en tubería de descarga de gas | Presencia de burbujas | 1 | Revisar con agua jabonosa | |
| | F=52 T= 120 Ruta=11 | 1 | Ajuste de la tapa superior de los cilindros y la base del cilindro del frame | Parámetros de vibración normales | 3 | Análisis de vibraciones | |
| | | 2 | Temperatura elementos internos de los cilindros de compresión | Parámetros de temperatura normales | 3 | Realizar un análisis termografico | |
| | MOT (Motor) | F=2 T=30 Ruta=1-3 | 1 | Revisar voltaje entre líneas | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 3 | Revisar el voltaje entre las tres líneas en paralelo |
| | | | 2 | Medición de corriente | 6,24 Amp +/- 10% | 1 | Revisar la corriente en corto circuito con pinza amperimetrica |
| 3 | | | Alineación motor compresor | Alineado/ Desalineado | 1 | Inspeccionar con Laser-Boquerilla | |
| F=52 T= 60 Ruta=12 | | 1 | Anclaje del motor | Parámetros dentro de vibración normales | 1 | Análisis de vibraciones | |
| ALM (Almacenamiento) | F=26 T= 30 Ruta=5 | 1 | Cilindro de almacenamiento | Inspección visual durante las visitas programadas | 10 | Prueba hidrostática quincenal(outsourcing) | |

Cuadro 14. (Continuación)

|  | | Puntos clave de inspección de EDS | | | | FOT-MAN XXX Version 1 Pagina 1 de 1 |
|---|----------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|---------------------------|---|
| Equipo: Compresor | | Codigo: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | | | |
| Subsistema | F:(Semanas) T:(Minutos) | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones |
| | Ruta | | | | | |
| ELE (Electrico) | F=26 T=30 Ruta=5 | 1 | Revisión de continuidad eléctrica en el PLC | Continuo/ Discontinuo | 1 | Utilizar multímetro |
| | F=52 T=30 Ruta=12 | 1 | Revisión de contactos y resistencias | Parámetros de temperatura normales | Nº de contactos de la EDS | Realizar un análisis termografico |
| ERM (Estación de regulación y medición) | F= 4 T=10 Ruta=1 | 1 | Revisar el sistema de monitoreo de | Funciona/No | 1 | Colocar un breaker para verificar su |
| | | 2 | Revisar nivel lubricador sistema neumático | Add-Full | 1 | Debe estar mas de la mitad del testigo |

Cuadro 15. Puntos clave de inspección en surtidores de Kennedy

|  | | Puntos clave de inspección de EDS | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 |
|---|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|---|---|
| Equipo: Surtidor | | Codigo: BOG-KENN-SURT-EMB | | | | |
| 01-MEC | F= 4 T=30 Ruta=3 | 1 | Presión de llenado(Mangueras) | 206 bar +/- 2.5 % de la presión de llenado final | 2 | Revisar esta información en el manómetro que tiene cada cara del surtidor |
| | | 2 | Revisión fuga en mangueras | Presencia de burbujas | | Revisar escape con agua jabonosa |
| 02-MEC | F= 4 T=30 Ruta=3 | 1 | Presión de llenado(Mangueras) | 206 bar +/- 2.5 % de la presión de llenado final | 2 | Revisar esta información en el manómetro que tiene cada cara del surtidor |
| | | 2 | Revisión fuga en mangueras | Presencia de burbujas | | Revisar escape con agua jabonosa |

6.1.2 Matriz de tiempos y balance de cargas de inspección. La matriz de tiempos y balance de cargas se realizan con el fin de distribuir los tiempos de los puntos claves de inspección y lograr determinar las rutas de inspección.

Este método organizativo se desarrolla con los puntos de inspección, frecuencias y tiempos de trabajo, pueden ser modificados a través del tiempo, ya que pueden ser cambiados por adecuaciones de equipos, equipos nuevos o por nuevos parámetros de inspección por deterioro.

Estos se distribuyeron por semanas en un año, garantizando la realización de los puntos claves de inspección de cada uno de los equipos, a continuación se muestra la matriz de inspección y el balance de cargas, para los demás compresores y surtidores aplica la misma matriz pero con diferentes límites.

Debido a que se tienen equipos en varias ubicaciones y que se manejan frecuencias 2 que se convirtieron en frecuencias 4, se tuvieron los siguientes criterios para la realización de la matriz de tiempos de inspección:

- ✓ Ubicación de las EDS
- ✓ Tiempo promedio de desplazamiento a las EDS de 1 hora
- ✓ En lo posible atender compresores y surtidores de una misma EDS en una misma visita

Por esta razón se realizaron los cuadros 16 y 17, permitiendo una correcta distribución de las frecuencias 2 y 4, luego se incluyeron en la matriz de tiempos de inspección:

Cuadro 16. Distribución de tiempos por EDS

Cuadro 17. Distribución en un mes

| Distribución de tiempos por EDS | | | | | Distribución de tiempos en un mes | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|------|-----|-----|-----------------------------------|----------|----------|----------|---------------|
| EDS | Subsistema | F2 | F2 | F4 | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Total del mes |
| Kennedy | BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 45 | 45 | 30 | 75 | | 45 | | 120 |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | 30 | 30 | | 30 | | 30 | | 60 |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | | | 10 | 10 | | | | 10 |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-01-MEC | | | 30 | | | 30 | | 30 |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-02-MEC | | | 30 | | | 30 | | 30 |
| Quiroga | BOG-QUIR-COM-MXS-01-COM | 45 | 45 | 30 | | 75 | | 45 | 120 |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-MOT | 30 | 30 | | | 30 | | 30 | 60 |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ERM | | | 10 | | 10 | | | 10 |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | | | 30 | | | | 30 | 30 |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | | | 30 | | | | 30 | 30 |
| Briceño | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 45 | 45 | 20 | 45 | | 65 | | 110 |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-MOT | 30 | 30 | | 30 | | 30 | | 60 |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COT | | | 10 | 10 | | | | 10 |
| | BOG-BRIC-SURT-EMB-MEC | | | 30 | 30 | | | | 30 |
| Brio caney | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COM | 45 | 45 | 20 | | 45 | | 65 | 110 |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-MOT | 30 | 30 | | | 30 | | 30 | 60 |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COT | | | 10 | | | | 10 | 10 |
| | BOG-BRIO-SURT-EMB-MEC | | | 30 | | 30 | | | 30 |
| Sibate | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 45 | 45 | 20 | 65 | | 45 | | 110 |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-MOT | 30 | 30 | | 30 | | 30 | | 60 |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COT | | | 10 | 10 | | | | 10 |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-01-MEC | | | 30 | | | 30 | | 30 |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-02-MEC | | | 30 | | | 30 | | 30 |
| Calera | BOG-CALE-COM-NXB-01-COM | 45 | 45 | 20 | | 45 | | 65 | 110 |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-MOT | 30 | 30 | | | 30 | | 30 | 60 |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-ALM | | | | | | | | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-ELE | | | | | | | | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-COT | | | 10 | | | | 10 | 10 |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-01-MEC | | | 30 | | 30 | | | 30 |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-02-MEC | | | 30 | | 30 | | | 30 |
| Total de minutos | | 450 | 450 | 500 | 335 | 355 | 365 | 345 | 1400 |
| | | 1400 | | | | | | | |

Cada color de los cuadros 16 y 17 hacen referencia a una ruta, ambos cuadros están relacionados, con la finalidad de tener una correcta distribución de los tiempos de las rutas.

Cuadro 18. Matriz de tiempos de inspección

|  | | Matriz de tiempos de inspección | | | FOT-MAN XXX Version 1 Pag 1 de 1 |
|---|--------------------------|---------------------------------|-----|------|--|
| EDS | Subsistema | F4 | F26 | F52 | |
| Kennedy | BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 120 | 20 | 120 | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | 10 | | | |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-01-MEC | 30 | | | |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-02-MEC | 30 | | | |
| Quiroga | BOG-QUIR-COM-MXS-01-COM | 120 | 20 | 120 | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ERM | 10 | | | |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | 30 | | | |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | 30 | | | |
| Briceño | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 110 | 20 | 120 | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COT | 10 | | | |
| | BOG-BRIC-SURT-EMB-MEC | 30 | | | |
| Brio caney | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COM | 110 | 20 | 120 | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COT | 10 | | | |
| | BOG-BRIO-SURT-EMB-MEC | 30 | | | |
| Sibate | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 110 | 20 | 120 | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COT | 10 | | | |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-01-MEC | 30 | | | |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-02-MEC | 30 | | | |
| Calera | BOG-CALE-COM-NXB-01-COM | 110 | 20 | 120 | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-MOT | 60 | | 60 | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-ALM | | 30 | | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-ELE | | 30 | 30 | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-COT | 10 | | | |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-01-MEC | 30 | | | |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-02-MEC | 30 | | | |
| Total de minutos | | 1400 | 480 | 1260 | |

En el cuadro 18, cada color hace referencia a una ruta de inspección, las frecuencias 4 no tienen color de ruta debido a que en los cuadro 16 y 17 se expuso en colores sus respectivas rutas.

Cuadro 19. Balance de cargas de inspección

| | | |
|---|---------------------------------|--|
|  | Balance de cargas de inspección | FOT-MAN XXX Versión 1 Pag 1 de 1 |
|---|---------------------------------|--|

| Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----|-----|-----|------------------|-----------------|-----|-----|------------------|-----------------|
| Frecuencia 4 | 335 ¹ | 355 ² | 365 ³ | 345 ⁴ | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 |
| Frecuencia 26 | | | 80 ⁵ | | | | | | 80 ⁶ | | | | 80 ⁷ |
| Frecuencia 52 | | | | 120 ¹¹ | | | | 90 ¹² | | | | 90 ¹³ | |
| Total mínimo | 335 | 355 | 445 | 465 | 335 | 355 | 365 | 435 | 415 | 355 | 365 | 435 | 415 |

| Semana | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|---------------------|-----------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|
| Frecuencia 4 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 365 |
| Frecuencia 26 | 80 ⁸ | | | | | | 80 ⁹ | | | | | 80 ¹⁰ | |
| Frecuencia 52 | | | 120 ¹⁴ | | 90 ¹⁵ | | | | | | 120 ¹⁶ | | |
| Total mínimo | 435 | 365 | 465 | 335 | 445 | 365 | 425 | 335 | 355 | 365 | 465 | 415 | 365 |

| Semana | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
|---------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|
| Frecuencia 4 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 |
| Frecuencia 26 | | | 80 | | | | | | 80 | | | | 80 |
| Frecuencia 52 | | 90 ¹⁷ | | | | 120 ¹⁸ | | | | 90 ¹⁹ | | | |
| Total mínimo | 365 | 435 | 415 | 355 | 365 | 465 | 335 | 355 | 445 | 435 | 335 | 355 | 445 |

| Semana | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-------------------|
| Frecuencia 4 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 | 335 | 355 | 365 | 345 |
| Frecuencia 26 | 80 | | | | | | 80 | | | | | 80 | |
| Frecuencia 52 | | | | | 120 ²⁰ | | | | 90 ²¹ | | | | 120 ²² |
| Total mínimo | 425 | 335 | 355 | 365 | 465 | 335 | 435 | 365 | 435 | 335 | 355 | 445 | 465 |

6.1.3 Rutas de inspección. Este es el formato donde se muestra la información básica acerca de las actividades que se deben realizar en los subsistemas de los equipos de las EDS, para realizar este formato se tomó el formato de puntos de inspección, y se seleccionaron las frecuencias como base para diferenciar las rutas. En el documento se expone la ruta de inspección N°1, las otras rutas de inspección se encuentran adjuntas en el anexo F.

Cuadro 20. Ruta de inspección N°1

|  | | Ruta de inspección N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Página 1 de 1 | |
|---|------|---|--------------------------|----------|---|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 5 h 35' | | | <u>1</u> <u>2</u> <u>3</u> <u>4</u> <u>5</u> <u>6</u> <u>7</u> <u>8</u> <u>9</u> <u>10</u> <u>11</u> <u>12</u> <u>13</u> <u>14</u> <u>15</u> <u>16</u> <u>17</u> <u>18</u> <u>19</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u> <u>24</u> <u>25</u> <u>26</u> <u>27</u> <u>28</u> <u>29</u> <u>30</u> <u>31</u> <u>32</u> <u>33</u> <u>34</u> <u>35</u> <u>36</u> <u>37</u> <u>38</u> <u>39</u> <u>40</u> <u>41</u> <u>42</u> <u>43</u> <u>44</u> <u>45</u> <u>46</u> <u>47</u> <u>48</u> <u>49</u> | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 1 | Nivel de aceite del cárter | Add-Full | 1 | Debe estar a 3/4 de nivel de carter con la maquina detenida. Nivelado con el nivel murphy | |
| | 2 | Nivel de aceite de la bomba secundaria | Add-Full | 1 | Se debe adicionar aceite en la caja que aloja la bomba de lubricacion secundaria | |
| | 3 | Presión del aceite a la salida de la bomba | 40-75 psi | 1 | Minimo 40 psi alarma 35 psi max 75 psi con temperatura de aceite mayor a 60 C° | |
| | 4 | Presión de entrada de gas | 12- 19 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo | |
| | 5 | Temperatura del aceite en el carter | 30c° -85 c° | 1 | Informacion suministrada en el PLC | |
| | 6 | Presion de primera etapa | 40- 60 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo | |
| | 7 | Temperatura de primera etapa | <130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC | |
| | 8 | Presión de segunda etapa | 80 - 120 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo | |
| | 9 | Temperatura segunda etapa | <130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC | |
| | 10 | Presión de tercera etapa | 150 -265 bar | 1 | Visualizar manómetro respectivo | |
| | 11 | Temperatura de tercera etapa | < 130 C° | 1 | Información suministrada en el PLC | |
| | 12 | Rendimiento m3/h | >900 m3/h | 1 | Información obtenida en el corrector electrónico, se ingresan los metros cúbicos que el corrector registre en un minuto en operación plena luego se multiplica por 60 | |
| | 13 | Verificar la diferencia de presiones de los manómetros del filtro de aceite | <10 psi | 2 | Revisar los manómetros análogos | |
| | 14 | Revisión eléctrica de ventilador principal | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 1 | Revisar Voltaje y Amperaje Motor de 7.5 kW | |
| | 15 | Revisión eléctrica de ventilador secundario | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 1 | Revisar Voltaje y Amperaje Motor de 0.75 kW | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | 1 | Revisar voltaje entre líneas | Voltaje 440 Vac +/- 10% | 3 | Revisar el voltaje entre las tres líneas en paralelo | |
| | 2 | Medición de corriente | 6,24 Amp +/- 10% | 1 | Revisar la corriente en corto circuito con pinza amperimetrica | |
| | 3 | Alineación motor compresor | Alineado/ Desalineado | 1 | Inspeccionar con Laser-Boquerilla | |

Cuadro 20. (Continuación)

|  | | Ruta de inspección N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|---|-------------------------|----------|---|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 5 h 35' | | | <u>1</u> <u>2</u> <u>3</u> <u>4</u> <u>5</u> <u>6</u> <u>7</u> <u>8</u> <u>9</u> <u>10</u> <u>11</u> <u>12</u> <u>13</u> <u>14</u> <u>15</u> <u>16</u> <u>17</u> <u>18</u> <u>19</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u> <u>24</u> <u>25</u> <u>26</u> <u>27</u> <u>28</u> <u>29</u> <u>30</u> <u>31</u> <u>32</u> <u>33</u> <u>34</u> <u>35</u> <u>36</u> <u>37</u> <u>38</u> <u>39</u> <u>40</u> <u>41</u> <u>42</u> <u>43</u> <u>44</u> <u>45</u> <u>46</u> <u>47</u> <u>48</u> <u>49</u> | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | 1 | Revisar el sistema de monitoreo de atmosfera | Funciona/No funciona | 1 | Colocar un breaker para verificar su funcionamiento | |
| | 2 | Revisar nivel lubricador sistema | Add-Full | 1 | Debe estar mas de la mitad del testigo | |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 1 | nivel de aceite del cárter | Add-Full | 1 | Debe estar a 3/4 de nivel de carter con la maquina detenida | |
| | 2 | Presión del aceite a la salida de la bomba | 40-75 psi | 1 | Informacion suministrada en el PLC | |
| | 3 | Presión de entrada de gas | 16-23 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 4 | Temperatura del aceite en el carter | 30-85 C° | 1 | Informacion suministrada en el PLC | |
| | 5 | Presion de primera etapa | 40-30 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 6 | Temperatura de primera etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 7 | Presión de segunda etapa | 40-30 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 8 | Temperatura segunda etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 9 | Presión de tercera etapa | 140-90 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 10 | Temperatura de tercera etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 11 | Presión de cuarta etapa | 150-275 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 12 | Temperatura de cuarta etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 13 | Verificar la diferencia de presiones de los manómetros del filtro de aceite | <10 psi | 1 | Inspeccion de manometro | |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01-MOT | 1 | Revisar voltaje entre líneas | voltaje 440 Vac +/- 10% | 3 | Revisar el voltaje entre las tres líneas en paralelo | |
| | 2 | Medición de corriente | 3 Amp +/- 10% | 1 | Revisar la corriente en corto circuito | |
| | 3 | Alineación motor compresor | Alineado/Desalineado | 1 | Inspeccionar con Laser-Boquerilla | |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01-COT | 1 | Revisar nivel lubricador sistema neumático | Add-Full | 1 | Debe estar mas de la mitad del testigo | |

Cuadro 20. (Continuación)

|  | | Ruta de inspección N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|---|--|----------|---|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 5 h 35' | | | <u>1</u> <u>2</u> <u>3</u> <u>4</u> <u>5</u> <u>6</u> <u>7</u> <u>8</u> <u>9</u> <u>10</u> <u>11</u> <u>12</u> <u>13</u> <u>14</u> <u>15</u> <u>16</u> <u>17</u> <u>18</u> <u>19</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u> <u>24</u> <u>25</u> <u>26</u> <u>27</u> <u>28</u> <u>29</u> <u>30</u> <u>31</u> <u>32</u> <u>33</u> <u>34</u> <u>35</u> <u>36</u> <u>37</u> <u>38</u> <u>39</u> <u>40</u> <u>41</u> <u>42</u> <u>43</u> <u>44</u> <u>45</u> <u>46</u> <u>47</u> <u>48</u> <u>49</u> | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-BRIC-SURT-EMB-MEC | 1 | Presión de llenado(Mangueras) | 206 bar +/- 2.5 % de la presión de llenado final | 2 | Revisar esta información en el manómetro que tiene cada cara del surtidor | |
| | 2 | Revisión fuga en mangueras | Presencia de burbujas | | Revisar escape con agua jabonosa | |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 1 | nivel de aceite del cárter | Add-Full | 1 | Debe estar a 3/4 de nivel de carter | |
| | 2 | Presión del aceite a la salida de la bomba | 40-75 psi | 1 | Informacion suministrada en el PLC | |
| | 3 | Presión de entrada de gas | 16-23 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 4 | Temperatura del aceite en el carter | 30-85 C° | 1 | Informacion suministrada en el PLC | |
| | 5 | Presion de primera etapa | 40-30 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 6 | Temperatura de primera etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 7 | Presión de segunda etapa | 40-30 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 8 | Temperatura segunda etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 9 | Presión de tercera etapa | 140-90 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 10 | Temperatura de tercera etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 11 | Presión de cuarta etapa | 150-275 Bar | 1 | Visualizar manometro respectivo | |
| | 12 | Temperatura de cuarta etapa | <150 C° | 1 | Termometro pistola laser | |
| | 13 | Verificar la diferencia de presiones de los manómetros del filtro de aceite | <10 psi | 1 | Inspeccion de manometro | |
| | 14 | Revision electrica de motor principal | voltaje 440 Vac +/- 10% | 1 | Revisar Voltaje y Amperaje Motor de 30 kw | |
| BOG-CALE-COM-NXB-01-MOT | 1 | Revisar voltaje entre líneas | voltaje 440 Vac +/- 10% | 3 | Revisar el voltaje entre las tres líneas ne paralelo | |
| | 2 | Medición de corriente | 3 Amp +/- 10% | 1 | Revisar la corriente en corto circuito | |
| | 3 | Alineación motor compresor | Alineado/ Desalineado | 1 | Inspeccionar con Laser-Boquerilla | |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01-COT | 1 | Revisar nivel lubricador sistema neumático | Add-Full | 1 | Debe estar mas de la mitad del testigo | |

6.2 PROGRAMA DE AJUSTE Y LIMPIEZA

La limpieza es fundamental para el buen estado de los equipos, aumenta su durabilidad, previene futuras intervenciones en los equipos por elementos extraños o saturación de suciedad. El ajuste también es importante, debido a la vibración es común que los equipos se desajusten, por eso los elementos encargados de sujetar son de cuidado.

6.2.1 Puntos claves de ajuste y limpieza. Para la limpieza se tuvieron en cuenta los puntos mencionados por los fabricantes y para el ajuste por medio de la junta multidisciplinaria se definieron los puntos que tienen las más altas vibraciones y los que son más representativos para los equipos. A continuación se muestran los puntos claves de ajuste y limpieza de los equipos que se encuentran en la EDS de Kennedy, los puntos clave de ajuste y limpieza de los otros equipos se encuentran adjuntos en el anexo G.

Cuadro 21. Puntos claves de inspección y limpieza compresor

|  | | Puntos clave de ajuste y limpieza | | | | FOT-MAN XXX Version 1 Pagina 1 de 1 |
|---|-----------------------|-----------------------------------|--|--|----------|--|
| Equipo: Compresor | | | Codigo: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | | |
| Subsistema | F:(Semanas) | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones |
| | T:(Minutos) Ruta | | | | | |
| COM (Compresión) | F= 2 T= 20 Ruta | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 3 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación |
| | | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colector de venteo |
| | F= 4 T= 10 Ruta | 1 | Ajuste de perno de sujeción del cilindro | 210 p. lbs | 6 | Usar llave 5/8" |
| ERM (Estación de regulación y medición) | F= 2 T= 20 Ruta | 1 | vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque |
| | | 2 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmones de entrada |
| | | 3 | Purga del pulmón auxiliar de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmon auxiliar de entrada |
| MOT (Motor) | F= 4 T=10 Ruta | 1 | Ajuste tornillería del motor principal | 1015 p. lbs | 4 | Usar llave 1" |

Cuadro 22. Puntos claves de inspección y limpieza surtidor

|  | | Puntos claves de ajuste y limpieza | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 |
|---|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|--|---|--|
| Equipo: Surtidor | | | Código: BOG-KENN-SURT-EMB | | | |
| 01-MEC | F= 2 T= 10 Ruta | 1 | Purga Filtro surtidores | Vaciar hasta observar presencia de gas | 2 | Valvulas purga filtros de surtidores, labor realizada por el operador de la estación |
| | F= 4 T= 30 Ruta | 1 | Limpieza interna y externa | Eliminar suciedad | 1 | Frecuencia según contrato |
| 02-MEC | F= 2 T= 10 Ruta | 1 | Purga Filtro surtidores | Vaciar hasta observar presencia de gas | 2 | Valvulas purga filtros de surtidores, labor realizada por el operador de la estación |
| | F= 4 T= 30 Ruta | 1 | Limpieza interna y externa | Eliminar suciedad | 1 | Frecuencia según contrato |

6.2.2 Matriz de tiempos y balance de cargas de ajuste y limpieza. Al igual que la matriz de tiempos y balance de cargas de inspección, estas se realizan con el fin de distribuir los tiempos de los puntos claves de ajuste y limpieza, y así determinar las rutas de ajuste y limpieza.

Debido a que se tienen equipos en distintas ubicaciones y que se usan frecuencias 2 en frecuencias 4 como se mencionó anteriormente, se tuvieron los mismos criterios de inspección para la realización de la matriz de tiempos.

Por esta razón fue necesario realizar un cuadro anexo a la matriz de tiempos, para la distribución de tiempos de las rutas de las frecuencias 2 y 4.

Cuadro 23. Distribución de tiempos de ajuste y limpieza por EDS

| Distribución de tiempos por EDS | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|-------|-----|-----|
| EDS | Subsistema | F2 | F2 | F4 |
| Kennedy | BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 20 | 20 | 10 |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | 20 | 20 | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Quiroga | BOG-QUIR-COM-MXS-01-COM | 20 | 20 | 10 |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ERM | 20 | 20 | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Briceño | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-BRIC-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Brio caney | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-BRIO-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Sibate | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Calera | BOG-CALE-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-MOT | | | 10 |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 |
| Total de minutos | | 300 | 300 | 420 |
| | | 1.020 | | |

Cuadro 24. Distribución tiempos de ajuste y limpieza en un mes

| Distribución de tiempos en un mes | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|---------------|
| Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Total del mes |
| 20 | | 30 | | 50 |
| 20 | | 20 | | 40 |
| 10 | | | | 10 |
| | 40 | | 10 | 50 |
| | 10 | | 40 | 50 |
| 20 | | 30 | | 50 |
| 20 | | 20 | | 40 |
| 10 | | | | 10 |
| | 40 | | 10 | 50 |
| | 10 | | 40 | 50 |
| 40 | | 30 | | 70 |
| | | 10 | | 10 |
| | 40 | | 10 | 50 |
| 40 | | 30 | | 70 |
| | | 10 | | 10 |
| | 10 | | 40 | 50 |
| 40 | | 30 | | 70 |
| | | 10 | | 10 |
| | 40 | | 10 | 50 |
| | 10 | | 40 | 50 |
| 40 | | 30 | | 70 |
| | | 10 | | 10 |
| | 40 | | 10 | 50 |
| | 10 | | 40 | 50 |
| 260 | 250 | 260 | 250 | 1.020 |

Cuadro 25. Matriz de tiempos de ajuste y limpieza

|  | | Matriz de tiempos de ajuste y limpieza | | | FOT-MAN XXX Version 1 Pag 1 de 1 |
|---|--------------------------|--|-----|-----|--|
| EDS | Subsistema | F2 | F2 | F4 | |
| Kennedy | BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 20 | 20 | 10 | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | 20 | 20 | | |
| | BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| | BOG-KENN-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Quiroga | BOG-QUIR-COM-MXS-01-COM | 20 | 20 | 10 | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-ERM | 20 | 20 | | |
| | BOG-QUIR-COM-MXS-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| | BOG-QUIR-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Briceño | BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 | |
| | BOG-BRIC-COM-NXB-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-BRIC-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Brio caney | BOG-BRIO-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 | |
| | BOG-BRIO-COM-NXB-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-BRIO-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Sibate | BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 | |
| | BOG-SIBA-COM-NXB-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| | BOG-SIBA-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Calera | BOG-CALE-COM-NXB-01-COM | 30 | 30 | 10 | |
| | BOG-CALE-COM-NXB-01-MOT | | | 10 | |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-01-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| | BOG-CALE-SURT-EMB-02-MEC | 10 | 10 | 30 | |
| Total de minutos | | 300 | 300 | 420 | |
| | | 1.020 | | | |

Cuadro 26. Balance de cargas de ajuste y limpieza

| | | |
|---|--|--|
|  | Balance de cargas de ajuste y limpieza | FOT-MAN XXX Versión 1 Pag 1 de 1 |
|---|--|--|

| Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frecuencia 4 | 260 ₁ | 250 ₂ | 260 ₃ | 250 ₄ | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 |
| Total mínimo | 260 | 250 | 2660 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 |

| Semana | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frecuencia 4 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 |
| Total mínimo | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 |

| Semana | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frecuencia 4 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 |
| Total mínimo | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 |

| Semana | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frecuencia 4 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 |
| Total mínimo | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 | 260 | 250 |

6.2.3 Rutas de ajuste y limpieza. La gran mayoría de estas rutas deben ser realizadas por los operadores de las EDS, por esta razón requieren de mayor supervisión, ya que por experiencia de los técnicos la mayoría de los operadores subestiman estas labores y son parte fundamental del mantenimiento. En el documento se encuentra la Ruta N° 1, las otras rutas se encuentran adjuntas en el Anexo H.

Cuadro 27. Ruta de ajuste y limpieza 1

|  | | Ruta de ajuste y limpieza N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|--|--|----------|--|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 4 h 20' | | | <u>14</u> <u>15</u> <u>16</u> <u>17</u> <u>18</u> <u>19</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u> <u>24</u> <u>25</u> <u>26</u> <u>27</u> <u>28</u> <u>29</u> <u>30</u> <u>31</u> <u>32</u> <u>33</u> <u>34</u> <u>35</u> <u>36</u> <u>37</u> <u>38</u> <u>39</u> <u>40</u> <u>41</u> <u>42</u> <u>43</u> <u>44</u> <u>45</u> <u>46</u> <u>47</u> <u>48</u> <u>49</u> <u>50</u> <u>51</u> <u>52</u> | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 3 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-ERM | 1 | vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 2 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmones de entrada | |
| | 3 | Purga del pulmón auxiliar de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmon auxiliar de entrada | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-MOT | 1 | Ajuste tornillería del motor principal | 1015 p. lbs | 4 | Usar llave 1" | |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 3 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |

Cuadro 27. (Continuación)

|  | | Ruta de ajuste y limpieza N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|--|--|----------|---|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 4 h 20' | | | 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01-ERM | 1 | vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 2 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmos de entrada | |
| | 3 | Purga del pulmón auxiliar de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmon auxiliar de entrada | |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01-MOT | 1 | Ajuste tornillería del motor principal | 1015 p. lbs | 4 | Usar llave 1" | |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 4 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |
| | 3 | Vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 4 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmos de entrada | |
| | 5 | Ajuste de perno de sujeción del cilindro | 210 p. lbs | 6 | Usar llave 5/8" | |

Cuadro 27. (Continuación)

|  | | Ruta de ajuste y limpieza N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|--|--|----------|--|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 4 h 20' | | | 14 15 16 <u>17</u> 18 19 20 <u>21</u> 22 23 24 <u>25</u> 26 27 28 <u>29</u> 30 31 32 <u>33</u> 34 35 36 <u>37</u> 38 39 40 <u>41</u> 42 43 44 <u>45</u> 46 47 48 <u>49</u> 50 51 52 | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 4 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |
| | 3 | Vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 4 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmos de entrada | |
| | 5 | Ajuste de perno de sujeción del cilindro | 210 p. lbs | 6 | Usar llave 5/8" | |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 4 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |
| | 3 | Vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 4 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmos de entrada | |
| | 5 | Ajuste de perno de sujeción del cilindro | 210 p. lbs | 6 | Usar llave 5/8" | |

Cuadro 27. (Continuación)

|  | | Ruta de ajuste y limpieza N°1 | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------|--|--|----------|---|--|
| Frecuencia:4 | | Tiempo: 4 h 20' | | | 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 | |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-CALE-COM-NXB-01-COM | 1 | Purga de blow down | Vaciar hasta observar presencia de gas | 4 | Valvulas purga blow down, labor realizada por el operador de la estación | |
| | 2 | Purga del colector de venteo | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula del colectro de venteo | |
| | 3 | Vaciado de tanque de choque | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula vaciado de choque | |
| | 4 | Purga del pulmón de entrada | Vaciar hasta observar presencia de gas | 1 | Valvula purga pulmonos de entrada | |
| | 5 | Ajuste de perno de sujeción del cilindro | 210 p. lbs | 6 | Usar llave 5/8" | |

6.3 PROGRAMA SISTEMÁTICO DE LUBRICACIÓN

Este programa busca reducir las paradas planeadas, costos de posibles fallas debido a una inadecuada lubricación, incrementar la vida útil de los equipos y garantizar la correcta lubricación de los mismos.

6.3.1 Lubricación¹. Todo mecanismo que tenga movimiento y este en contacto con otra pieza debe tener lubricación, dentro de las principales funciones de los lubricantes están:

- ✓ Reducir la fricción y la energía de accionamiento
- ✓ Reducir el desgaste
- ✓ Disipar calor
- ✓ Prevenir la oxidación, corrosión y herrumbre
- ✓ Desplazamiento de partículas solidas
- ✓ Transmitir potencia

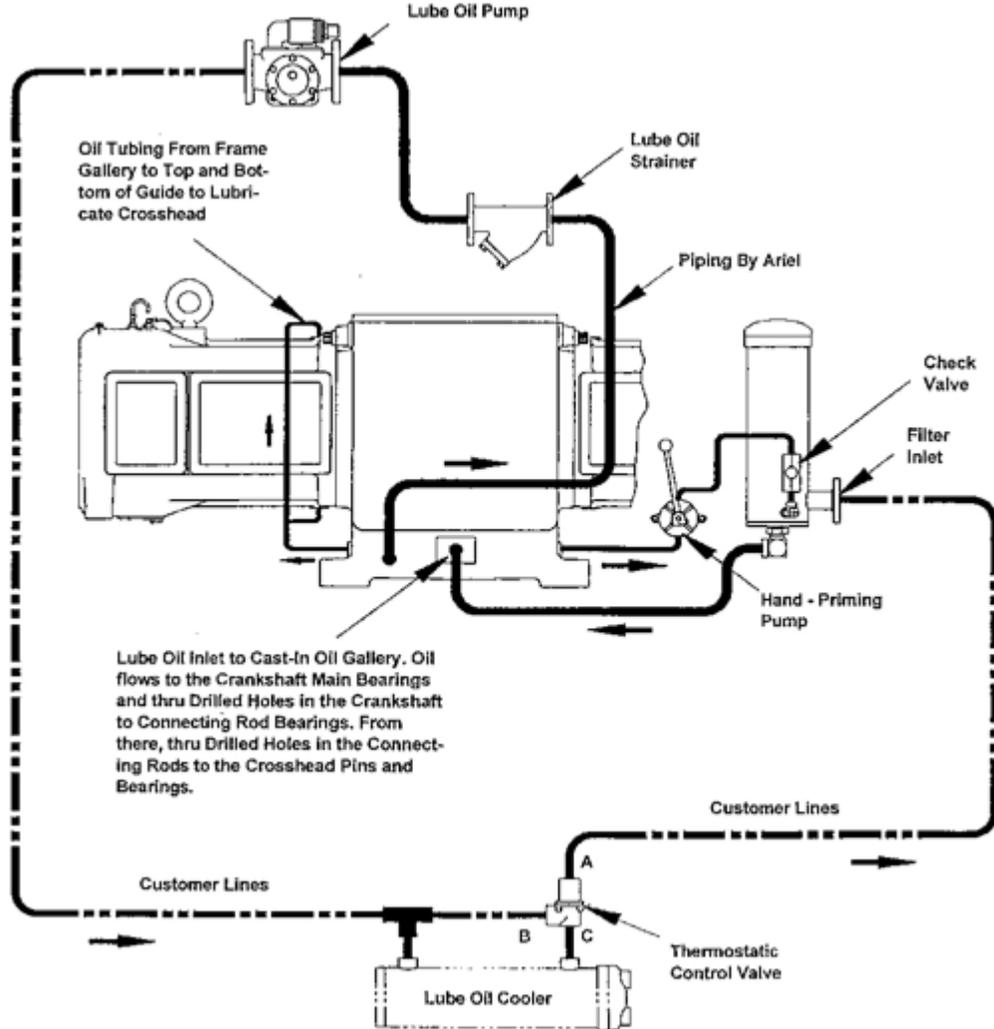
Los equipos de la empresa utilizan los siguientes lubricantes:

- ✓ Aceite SAE 40, es un aceite monógrado, con una viscosidad entre 12,5 y 16,3 cSt a una temperatura de 100°C, su principal función es lubricar los pistones de los compresores de los equipos Nanobox
- ✓ Aceite SAE 150, es un aceite monógrado, con viscosidad entre 24 y 41 cSt a una temperatura de 100°C, su principal función es lubricar los pistones de los compresores de los equipos Microbox, Aspro y Agira
- ✓ Grasa Mobilelux EP2, esta grasa es utilizada para lubricar el rodamiento que lleva el acople que une el motor con el sistema de compresión

6.3.2 Esquema de lubricación de los compresores. A continuación se indica cómo está distribuido el sistema de lubricación en cada etapa de compresión en los compresores

¹SÁNCHEZ MARÍN, Francisco, et al. Mantenimiento mecánico de máquinas. 2 ed. Castellano sw la plana, publicaciones de la Universidad Jaume I, D. L. 2007

Figura 38. Esquema de circuito de aceite de los compresores



Fuente: GRUPO GALILEO. Microbox, especificaciones de lubricación. [Diapositivas]. Argentina. 2005

El sistema de lubricación de los compresores empieza en el Carter, que es donde se almacena el aceite de lubricación, luego pasa a una bomba de aceite, la cual es la encargada de entregarle energía cinética al aceite para que pueda circular por el sistema, luego pasa por un enfriador de aceite lubricante, este disminuye la temperatura del aceite, ya que el viene a una muy alta temperatura porque viene de recircular por el sistema de compresión, luego pasa a un punto C, si la temperatura no es la adecuada pasa a la línea B, donde vuelve a pasar por el enfriador, cuando la temperatura sea la adecuada la válvula de control termostática deja pasar el aceite a la línea A. Después el aceite pasa por el filtro para ser limpiado de impurezas para luego ser ingresado en el sistema de compresión.

Al ingresar en el sistema de compresión, primero lubrica el cojinete principal del cigüeñal a través de unos agujeros perforados, seguidos de la bielas, desde allí pasa a lubricar los terminales de las crucetas y los rodamientos. Luego lubrica los pistones, después este aceite pasa a un colador para limpiar las impurezas del sistema de lubricación para luego ser impulsado de nuevo por la bomba de lubricación y reiniciar el ciclo.

6.3.3 Puntos claves de lubricación. Al igual que los puntos claves de inspección, permite conocer las actividades a realizar por cada equipo, teniendo en cuenta cada uno de los subconjuntos. Debido a que los equipos poseen un sistema de lubricación bastante completo la cantidad de puntos claves de inspección son pocos.

Los puntos claves de lubricación mostrados a continuación son de los equipos de la estación de Kennedy, su compresor y surtidores, los puntos claves de lubricación de los otros equipos se encuentran adjuntos en el Anexo I.

Cuadro 28. Puntos clave de lubricación

| | | |
|---|------------------------------|---|
|  | Puntos claves de lubricación | FOT-MAN XXX Version 1 Pagina 1 de 1 |
|---|------------------------------|---|

| Equipo: Compresor | | Codigo: BOG-KENN-COM-MXS-01 | | | | |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|---|--|--------------------|--------------------------|
| Subsistema | Ruta | Ítem | Detalles de Lubricación | Limites | Cantidad | Observaciones |
| | F:(Semanas) | | | | | |
| COM (Compresión) | Ruta = 1 F= 13 T= 60 | 1 | Lubricación en rodamientos de motor principal | Grasa Mobilux EP 2 | 70 gramos de grasa | Utilizar EPP |
| | | 2 | Cambio/adición de aceite | Llenado completo del tanque reservorio | según necesidad | Utilizar EPP |
| | | 3 | Cambio de filtro de aceite | Cada 2000 horas | 1 und | Utilizar EPP |
| | Ruta = 2 F= 52 T= 60 | 1 | Análisis de aceite | Características de un aceite SAE 150 | 1 und | Contratar un outsourcing |

6.3.4 Matriz de tiempos y balance de cargas de lubricación. Al igual que la matriz de tiempos y balance de cargas de inspección, se realizan con el fin de distribuir los tiempos de los puntos claves de lubricación y lograr determinar las rutas de lubricación.

A continuación se muestra la matriz de lubricación;

Cuadro 29. Matriz de lubricación

| | | |
|---|----------------------------------|--|
|  | Matriz de tiempos de lubricacion | FOT-MAN XXX Version 1 Pag 1 de 1 |
|---|----------------------------------|--|

| Equipo | F13 | F52 |
|---------------------|-----|-----|
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 60 | 60 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 60 | 60 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 60 | 60 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 60 | 60 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 60 | 60 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 60 | 60 |
| Tiempo total | 360 | 360 |

Cuadro 30. Balance de cargas de lubricación

| | | |
|---|----------------------------------|--|
|  | Balance de cargas de lubricacion | FOT-MAN XXX Versión 1 Pag 1 de 1 |
|---|----------------------------------|--|

| Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------|---|-----------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|----|
| Frecuencia 13 | | 60 ¹ | | 60 ² | | 60 ³ | | 60 ⁴ | | 60 ⁵ | | 60 ⁶ | |
| Frecuencia 52 | | | | | 60 ⁷ | | | | | | 60 ⁸ | | |
| Total mínimo | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 |

| Semana | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|---------------|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|------------------|----|----|
| Frecuencia 13 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | |
| Frecuencia 52 | | | 60 ⁹ | | | | | | | | 60 ¹⁰ | | |
| Total mínimo | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 |

| Semana | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
|---------------|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Frecuencia 13 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | |
| Frecuencia 52 | | | | | 60 ¹¹ | | | | | | | | |
| Total mínimo | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 |

| Semana | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|----|----|
| Frecuencia 13 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | | 60 | |
| Frecuencia 52 | | | | | | | 60 ¹² | | | | | | |
| Total mínimo | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 |

6.3.5 Rutas de lubricación. Al igual que las rutas de inspección, ajuste y limpieza, en este formato es donde se muestra la información básica acerca de las actividades que se deben realizar en los subsistemas de los equipos de las EDS, para realizar este formato se tomó el formato de puntos de inspección, y se seleccionaron las frecuencias como base para diferenciar las rutas. A continuación se adjunta la ruta N° 1, las otras rutas de lubricación se encuentran adjuntas en el anexo J.

Cuadro 31. Ruta de lubricación N°1

|  | | Ruta de lubricacion N°1 | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 |
|---|------|---|--|--------------------|---------------|---|
| Frecuencia: 13 | | Tiempo: 1 h | | | | 1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 <u>15</u> 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 <u>28</u> 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 <u>41</u> 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 |
| Subsistema | Ítem | Detalles de Inspección | Limites | Cantidad | Observaciones | |
| BOG-KENN-COM-MXS-01-COM | 1 | Lubricación en rodamientos de motor principal | Grasa Mobilux EP 2 | 70 gramos de grasa | Utilizar EPP | |
| | 2 | Cambio/adición de aceite | Llenado completo del tanque reservorio | Según necesidad | Utilizar EPP | |
| | 3 | Cambio de filtro de aceite | Cada 2000 horas | 1 und | Utilizar EPP | |

6.3.6 Cartas de lubricación. Las cartas de lubricación son formatos donde se resumen los puntos de lubricación al detalle de cada equipo, según el programa sistemático de lubricación. En las cartas se encuentra la imagen del equipo donde está marcado con números, los cuales indican los puntos de lubricación según el ítem, al igual cada ítem está acompañado de una fotografía. Además en el formato debe estar incluido el tipo de lubricante y el usado en la empresa, debido a que en la empresa utilizan el mismo tipo de lubricantes recomendados por el fabricante por esa razón no se mencionaran los dos, porque se estaría repitiendo información. Por ultimo esta la frecuencia con la que se debe realizar la tarea, esta coincide con la establecida en el programa sistemático de lubricación.

Usar los lubricantes recomendados por el fabricante da un resultado óptimo y evita el desgaste entre piezas, por esta razón la empresa maneja los mismos lubricantes recomendados.

A continuación se adjuntan las rutas de lubricación de los compresores Microbox y los compresores Nanobox.

Figura 39. Carta de lubricación de compresor Microbox

|  | | Carta de lubricación | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|--|------------|---|------------|--------------------------------|----------------------|---|-----------|
|  | | | | | | | |
| Equipo: Compresor Microbox | | | | | | | |
| Item | Subsistema | Fotografía | Frecuencia | Elemento a lubricar | Método de aplicación | Lubricante | Cantidad |
| 1 | Compresión |  | 13 | Rodamientos de motor principal | Grasera | Grasa Mobilux EP 2 | 70 gramos |

Figura 39. (Continuación)

|  | | Carta de lubricación | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|------------|---|------------|----------------------------|-----------------------|---|------------------|
| Item | Subsistema | Fotografía | Frecuencia | Elemento a lubricar | Método de aplicación | Lubricante | Cantidad |
| 2 | Compresión |  | 13 | Tanque reservorio | Circulación de aceite | Aceite SAE 150 | Llenado completo |
| 3 | |  | 13 | Cambio de filtro de aceite | - | - | 1 unidad |

Figura 40. Carta de lubricación de compresor Nanobox

| | | | | | | | |
|---|--|----------------------|--|--|--|---|--|
|  | | Carta de lubricación | | | | FOT-MAN XXX Versión 1 Pagina 1 de 1 | |
|---|--|----------------------|--|--|--|---|--|

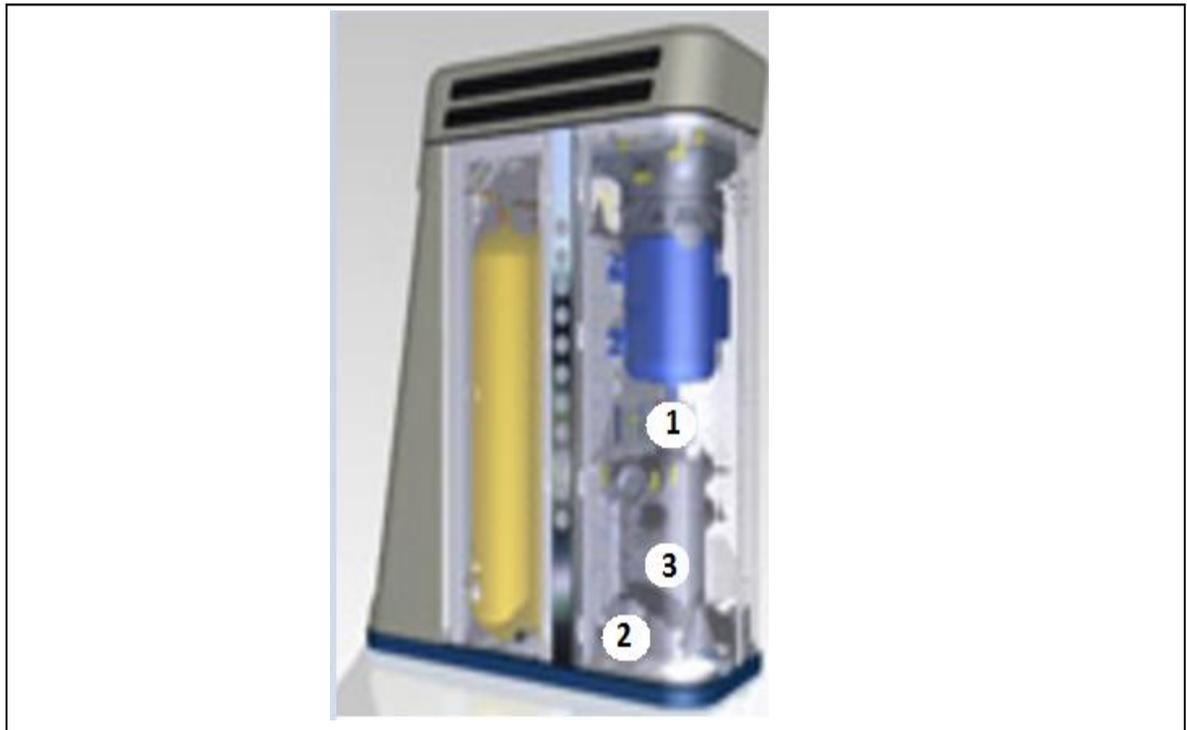


Figura 40. (Continuación)

| Equipo: Compresor Nanobox | | | | | | | |
|---------------------------|------------|--|------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Item | Subsistema | Fotografía | Frecuencia | Elemento a lubricar | Método de aplicación | Lubricante | Cantidad |
| 1 | Compresión |  | 13 | Rodamientos de motor principal | Grasera | Grasa Mobilux EP 2 | 70 gramos |
| 2 | |  | 13 | Tanque reservorio | Circulación de aceite | Aceite SAE 40 | Llenado completo |
| 3 | |  | 13 | Cambio de filtro de aceite | - | - | 1 unidad |

7. INDICADORES DE GESTIÓN

“Los indicadores de gestión, se entienden como la expresión cuantitativa del comportamiento o el desempeño de toda una organización o una de sus partes: gerencia, departamento, unidad u persona cuya magnitud al ser comparada con algún nivel de referencia.”⁶

Para el proyecto los indicadores de mantenimiento tienen como fin evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos con el fin de medir su efectividad, mediante la implementación de un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar labores, el desarrollo del capítulo se enfocara en tres indicadores los cuales son disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

7.1 DISPONIBILIDAD

“Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables”⁷, estos son medidos mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{(\text{MTBF} + \text{MTTR})}$$

Donde:

MTBF según sus siglas significa “tiempo medio entre fallas”, es la relación entre el producto del número de tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo de operacion}}{\text{Número de fallas}}$$

MTTR corresponde al “tiempo medio para reparar”, este se calcula como la razón de los tiempos de reparación entre la cantidad de reparaciones presentadas sobre el número de fallas, como se muestra en la siguiente fórmula:

⁶ LORINO, Philippe. El control de gestión estratégico. S.A marcondo Grupo Editor. Barcelona. 1993

⁷ MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfa omega Grupo Editor. México. 2009

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

7.2 CONFIABILIDAD

Según la guía técnica colombiana GTC 62 la confiabilidad es “la capacidad de una entidad para efectuar su función específica en unas condiciones y con un rendimiento definidos durante un periodo de tiempo determinado. Puede expresarse como la probabilidad de que funcione correctamente en las condiciones operativas de diseño durante un determinado periodo de tiempo”, su fórmula matemática es:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \sum \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}}$$

7.3 MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad se puede definir Según la guía técnica colombiana GTC 62 como “la aptitud de un dispositivo para ser mantenido o restablecido al estado en el que pueda cumplir su función requerida cuando el mantenimiento se cumple en las condiciones dadas, con los procedimientos y medios prescritos” y su fórmula matemática es:

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\sum \text{Tiempo de reparaciones}}{\text{números de fallas}}$$

7.4 CÁLCULO DE LOS INDICADORES

Para el estudio de este proyecto se tomaron los indicadores antes mencionados, aplicados a los equipos críticos (5) en Bogotá y los valores son desde diciembre de 2.015 hasta febrero de 2.016, tiene una duración aproximada de 3 meses, periodo comparado con el de diciembre de 2.014 a febrero de 2.015, esto con la finalidad de mostrar los resultados obtenidos antes y después de la implementación

Un punto importante para la empresa es tener una disponibilidad por arriba de 97% por temas de contratos con las EDS.

Cuadro 32. Disponibilidad antes

| DISPONIBILIDAD (01/12/2014)-(01/03/2015) | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------|--------|------------------|
| EQUIPO | TIEMPO DE OPERACIÓN (Horas) | TIEMPO DE REPARACION N(Horas) | NUMERO DE FALLAS | MTTR | MTBF | DISPONIBILIDAD % |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 2041,82 | 118,18 | 16 | 7,39 | 127,61 | 94,53 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 2144,08 | 15,92 | 7 | 2,27 | 306,30 | 99,26 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 2111,36 | 48,64 | 16 | 3,04 | 131,96 | 97,75 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 2133,89 | 26,11 | 14 | 1,87 | 152,42 | 98,79 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 2130,51 | 29,49 | 12 | 2,46 | 177,54 | 98,63 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 2118,66 | 41,34 | 16 | 2,58 | 132,42 | 98,09 |

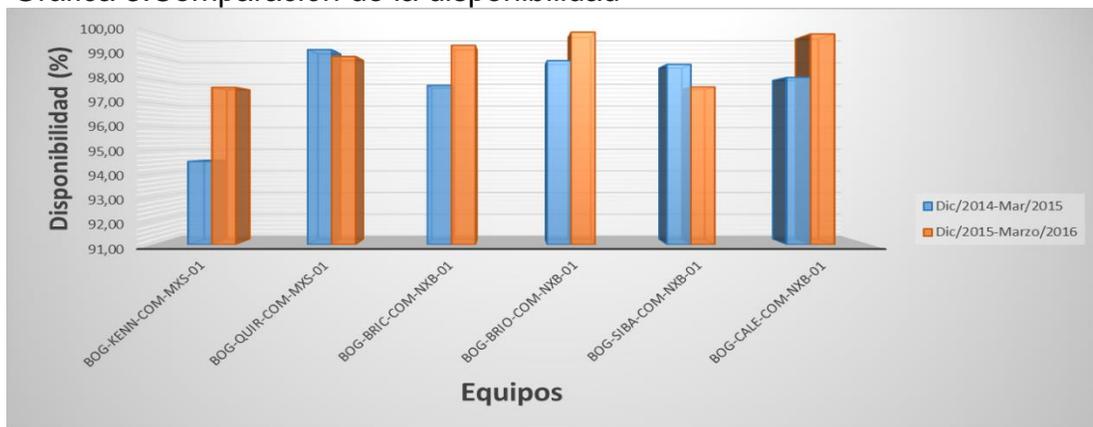
El color verde significa que está en un rango favorable para la empresa, el color amarillo identifica riesgo, y el color rojo alarma, como se observa en el compresor de la EDS Kennedy se encontraba con una disponibilidad del 94,53% lo cual no es favorable a la empresa.

Cuadro 33. Disponibilidad después

| DISPONIBILIDAD (01/12/2015)-(01/03/2016) | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------|---------|------------------|
| EQUIPO | TIEMPO DE OPERACIÓN (Horas) | TIEMPO DE REPARACION N(Horas) | NUMERO DE FALLAS | MTTR | MTBF | DISPONIBILIDAD % |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 2133,04 | 50,96 | 11 | 4,63 | 193,91 | 97,67 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 2161,56 | 22,44 | 3 | 7,48 | 720,52 | 98,97 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 2171,83 | 12,17 | 3 | 4,06 | 723,94 | 99,44 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 2184 | 0 | 1 | 0,00 | 2184,00 | 100,00 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 2126,52 | 50,48 | 7 | 7,21 | 303,79 | 97,68 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 2182,42 | 1,58 | 3 | 0,53 | 727,47 | 99,93 |

Comparando la EDS de Kennedy del periodo anterior con el periodo después de la implementación, se observa un aumento en la disponibilidad al 97,67% lo cual favoreció a la empresa y género más confianza en los clientes, para observar de mejor manera esta comparación se realiza el siguiente gráfico.

Gráfica 3. Comparación de la disponibilidad



Para el indicador de confiabilidad se utilizan las formulas expuestas anteriormente, el resultado de la confiabilidad se expresa en horas por petición de la empresa y de los clientes, de este modo se pueden observar que a mayor número de horas, mayor es la confiabilidad de un equipo, se obtienen los siguientes cuadros:

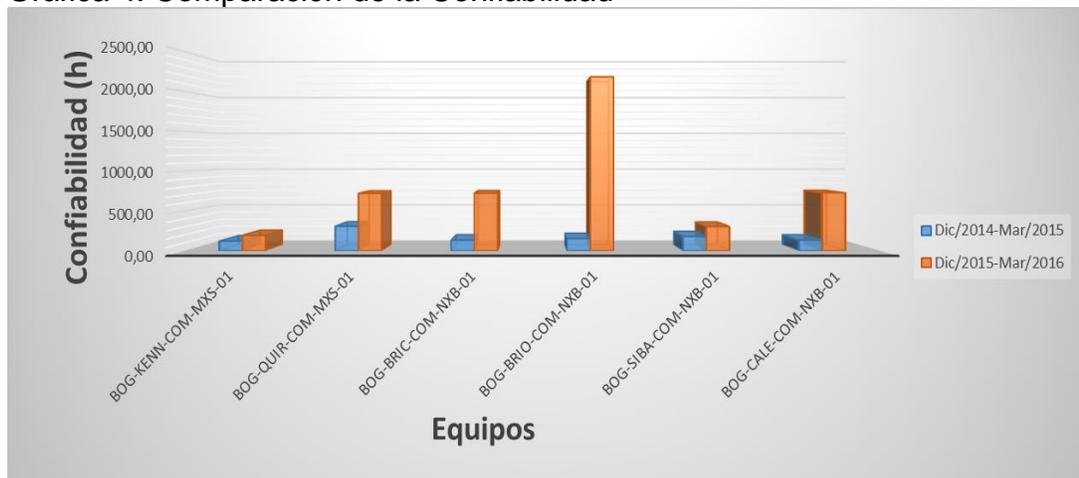
Cuadro 34. Confiabilidad antes

| CONFIABILIDAD 01/12/2014-01/03/ 2015 | | | |
|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| EQUIPO | TIEMPO REAL (Horas) | NUMERO DE FALLAS | CONFIABILIDAD (H) |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 2041,82 | 17 | 120,11 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 2144,08 | 7 | 306,30 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 2111,36 | 16 | 131,96 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 2133,89 | 14 | 152,42 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 2130,51 | 12 | 177,54 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 2118,66 | 16 | 132,42 |

Cuadro 35. Confiabilidad después

| CONFIABILIDAD 01/12/2015-01/03/ 2016 | | | |
|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| EQUIPO | TIEMPO REAL (Horas) | NUMERO DE FALLAS | CONFIABILIDAD (H) |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 2133,04 | 11 | 193,91 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 2161,56 | 3 | 720,52 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 2171,83 | 3 | 723,94 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 2184 | 1 | 2184,00 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 2126,52 | 7 | 303,79 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 2182,42 | 3 | 727,47 |

Gráfica 4. Comparación de la Confiabilidad



Como se observa se mejoró la confiabilidad, la mayor parte de esta mejora se debe a la disminución de las fallas presentadas en las EDS.

Para la mantenibilidad se utiliza la ecuación anteriormente expuesta, se toma el tiempo de reparación que se divide por el número de fallas en cada EDS, como resultado se obtienen los siguientes cuadros.

Cuadro 36.Mantenibilidad antes

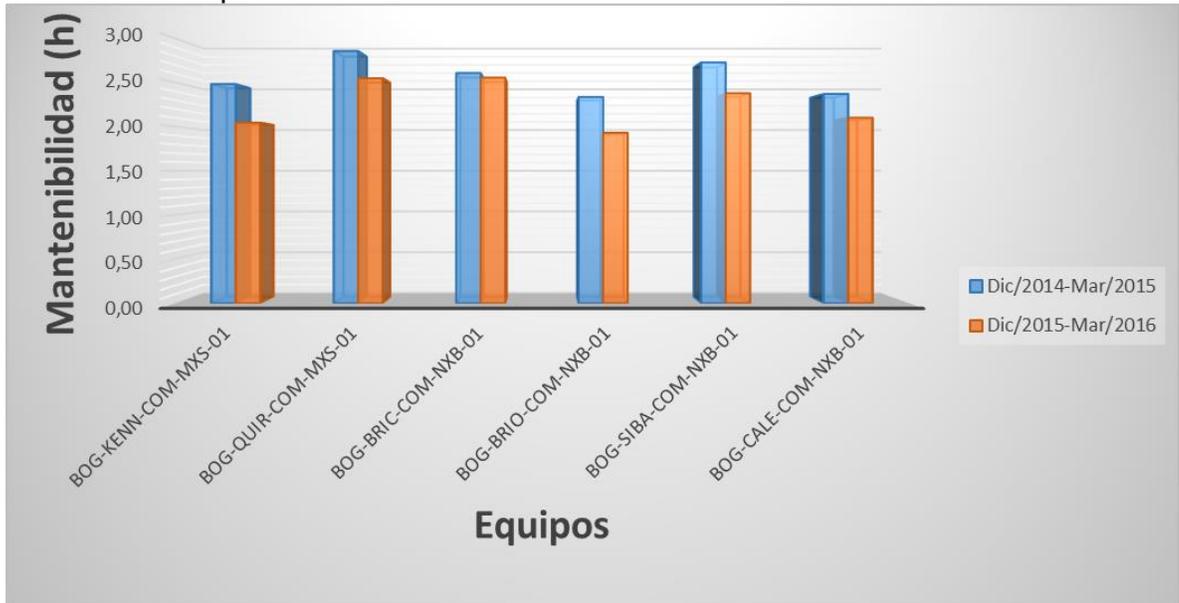
| MANTENIBILIDAD (01/12/2014)-(01/03/2015) | | | |
|--|------------------------------|------------------|--------------------|
| EQUIPO | TIEMPO DE REPARACION (Horas) | NUMERO DE FALLAS | MANTENIBILIDAD HRS |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 42,17 | 17 | 2,48 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 19,98 | 7 | 2,85 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 23,45 | 9 | 2,61 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 21,01 | 9 | 2,33 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 32,71 | 12 | 2,73 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 37,9 | 16 | 2,37 |

Cuadro 37.Mantenibilidad después

| MANTENIBILIDAD (01/12/2015)-(01/03/2016) | | | |
|--|------------------------------|------------------|--------------------|
| EQUIPO | TIEMPO DE REPARACION (Horas) | NUMERO DE FALLAS | MANTENIBILIDAD HRS |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 22,5 | 11 | 2,05 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 7,64 | 3 | 2,55 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 7,66 | 3 | 2,55 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 1,93 | 1 | 1,93 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 16,64 | 7 | 2,38 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 2,1 | 1 | 2,10 |

En el anterior cuadro se muestra un aumento de horas por parte de los técnicos para realizar el mantenimiento, esto significa menor mantenibilidad, lo anterior se debe a que actualmente se resuelve la falla y se realiza una inspección a toda la maquina con el fin de prevenir fallas futuras, por lo tanto al aumentar las horas de reparación se disminuye el número de fallas en la EDS.

Gráfica 5. Comparación de la mantenibilidad



Como se observa en la gráfica 5 la mantenibilidad aumentó en dos de las seis estaciones.

8. ESTUDIO DE REPUESTOS

En este capítulo se identificaron los materiales, insumos y repuestos a partir de la siguiente clasificación: consumo permanente (continuo), consumo frecuente (programable) y consumo sin frecuencia (aleatorio).

Existen muchas variables que afectan directamente e indirectamente la compra de los repuestos, como tiempos de entrega, costos, fácil y rápida adquisición del repuesto, proveedores, tiempo de reposición, costos envío, tiempos de rotación, ¿Cuánto se debe pedir?, entre otras variables que se deben tener en cuenta para el manejo de repuestos.

8.1 REPUESTOS EN LA EMPRESA

Actualmente en la empresa se reúnen anualmente el director de mantenimiento con el planeador de mantenimiento y el almacenista, para hacer un listado por EDS de los repuestos según los servicios que se van a realizar por equipo para el próximo año, pero los conceptos de Stock mínimo y Stock de seguridad no se manejan y los pedidos los hacen según criterio de las personas de mantenimiento.

Debido a la inapropiada planeación de los repuestos, en algunas ocasiones ha sido necesario dar de baja a algunos y en otros escenarios no ha habido existencias cuando se han presentado emergencias, esto son algunos casos puntuales, no ocurren con frecuencia en la empresa, pero manejar Stock mínimo y Stock de seguridad servirá para mejorar la utilidad y el almacenamiento de los repuestos en bodega.

Para realizar una buena gestión de repuestos y materiales, se debe realizar una diferenciación de los tipos de repuestos:

Consumo continuo son los repuestos que tienen un consumo constante, alta y cantidad instalada alta.

Consumo programable son los repuestos de consumo bajo, que generan costo alto vs el costo de la falla, son los que tienen una vida útil limitada y se puede efectuar su cambio antes de la falla.

Consumo aleatorio es el repuesto cuando se trata de una falla imposible de detectar, que tiene una vida de uso indefinida y que genera una falla catastrófica.

Para este estudio de repuestos se tuvo en cuenta las 26 EDS de Bogotá. La cantidad de repuestos es alta pero debido a que se repiten muchos equipos la variedad de repuestos no es tan alta. Como propuesta de la empresa se realizó la gestión de repuestos para todos los repuestos de los equipos involucrados. El código mencionado en los repuestos hace referencia al código interno que se maneja en el

software SAP, esto permite un sistema dinámico de reposición, vale mencionar que la empresa cuenta solo con el módulo de compras del software SAP, no cuenta con el módulo de mantenimiento, por concepto de costos .

Cuadro 38. Repuestos de los equipos

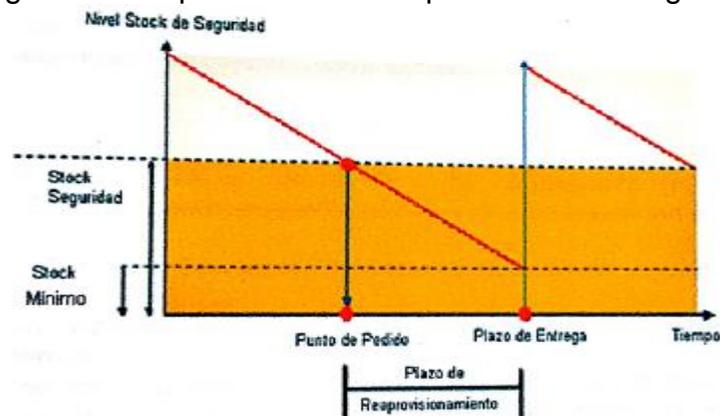
| Codigo | Descripción | Consumo anual | Tiempo de reposición (meses) | Stock minimo | Precio por Unidad | Costo Sm | Stock de seguridad | Costo Ss |
|------------------|--|---------------|------------------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------------|-------------|
| 29007 | Filtro de aceite para compresor b76 | 19 | 3 | 5 | \$ 16.808 | \$ 84.042 | 6 | \$ 92.446 |
| 29010 | Filtro erm pequeño (largo: 12.5 cms x 7.5 cms diam ext.) | 16 | 3 | 4 | \$ 7.985 | \$ 31.940 | 4 | \$ 35.134 |
| 29011 | Filtro de gases carter | 16 | 3 | 4 | \$ 15.167 | \$ 60.666 | 4 | \$ 66.733 |
| 29012 | Filtro surtidor doble anillo | 63 | 3 | 16 | \$ 63.523 | \$ 1.016.374 | 18 | \$1.118.011 |
| 29017 | Filtro coalescente de salida | 36 | 3 | 9 | \$ 114.855 | \$ 1.033.697 | 10 | \$1.137.067 |
| A-11964 | Rider ring, 3-1/2 m:p .250w | 20 | 3 | 5 | \$ 443.086 | \$ 2.215.431 | 6 | \$2.436.974 |
| A-7171 | Rider ring, 3"jg:a:nq:sg" | 18 | 3 | 5 | \$ 393.754 | \$ 1.968.769 | 6 | \$2.165.646 |
| B-0003 | Sleeve brg,bz,rod,jg (buje de biela) | 18 | 3 | 5 | \$ 188.124 | \$ 940.622 | 6 | \$1.034.684 |
| CXIM100090A001A | Aro rider ring m100 diam 90 | 6 | 3 | 2 | \$ 757.649 | \$ 1.515.298 | 2 | \$1.666.828 |
| CXIA05T045A001A | Piston ring a05t 45 | 5 | 3 | 2 | \$ 421.319 | \$ 842.638 | 2 | \$ 926.902 |
| CXIA05T045A002A | Wear band a05t dim45 | 1 | 12 | 1 | \$ 356.948 | \$ 356.948 | 1 | \$ 392.643 |
| CXRBIEL000H001A | Buje de biela [b-0003] | 2 | 3 | 1 | \$ 467.916 | \$ 467.916 | 1 | \$ 514.708 |
| CXIM100000VS01AK | Kit valvula de succion cilindros m100 52rx | 4 | 3 | 1 | \$ 245.538 | \$ 245.538 | 1 | \$ 270.091 |
| CXIM100000VD01AK | Kit valvula de descarga cilindros m100 52rx | 4 | 3 | 1 | \$ 342.730 | \$ 342.730 | 1 | \$ 377.003 |
| CXIA05T050V001AK | Kit valvula concentrica cil. a05t 45 | 1 | 12 | 1 | \$ 279.225 | \$ 279.225 | 1 | \$ 307.148 |
| CXRBIEL000J001A | Cojinete de biela | 4 | 3 | 1 | \$ 84.320 | \$ 84.320 | 1 | \$ 92.752 |
| CXU0000CIGJ003A | Cojinete de bancada | 3 | 3 | 1 | \$ 143.647 | \$ 143.647 | 1 | \$ 158.011 |
| CXU0000CIGJ004A | Cojinete de bancada axial | 1 | 12 | 1 | \$ 70.274 | \$ 70.274 | 1 | \$ 77.302 |
| B-2647-K | rblt kit,pist rod pkg,1.125 | 7 | 12 | 2 | \$1.617.948 | \$ 3.235.896 | 2 | \$3.559.486 |
| KB-3374-S | Kit,vlv, 52rx ny | 6 | 3 | 2 | \$ 171.798 | \$ 343.597 | 2 | \$ 377.956 |
| KB-3590-P | Kit,vlv, 52rx pk | 6 | 3 | 2 | \$ 400.144 | \$ 800.287 | 2 | \$ 880.316 |
| KB-3712-P | Kit,vlv, 52rx pk | 5 | 3 | 2 | \$ 388.158 | \$ 776.317 | 2 | \$ 853.948 |
| KB-4087-AA | Kit,vlv, 52rx ,mtx | 2 | 3 | 1 | \$ 164.723 | \$ 164.723 | 1 | \$ 181.195 |
| KB-1967-E | Kit,vlv,conc,062/030 1-1/2 | 5 | 3 | 2 | \$ 553.969 | \$ 1.107.938 | 2 | \$1.218.732 |
| A-7037 | Piston ring, 1-1/2jg:sg,pk,sj | 30 | 3 | 8 | \$ 860.112 | \$ 6.880.893 | 9 | \$7.568.982 |
| A-6030 | wear band, 1-1/2jg:sg | 5 | 3 | 2 | \$ 254.715 | \$ 509.430 | 2 | \$ 560.372 |

8.2 STOCK DE SEGURIDAD

El término stock hace referencia a los artículos que se encuentran almacenados en la empresa en espera de su utilización, el stock de seguridad es el volumen de artículos en existencias que se tienen en el almacén con el fin de proteger al departamento de mantenimiento de situaciones de bajas abruptas de repuestos, por mantenimientos correctivos, por el retraso del proveedor o por falta de gestión del almacén a la hora de pedir repuestos.

Todo esto se puede evitar realizando un cálculo de seguridad que se explica más adelante

Figura 41. Esquema de niveles para Stock de seguridad



COLINA LEÓN ARURO. Investigación de operaciones Teoría de inventarios [en línea]. <<http://slideplayer.es/slide/1066541/>> [citado el 16 de enero de 2016]

En la figura 41 se puede observar el comportamiento del nivel de repuestos respecto al tiempo, esto sirve para conocer el tiempo de reposicionamiento de los repuestos y como guía para entender el concepto

Antes de realizar este cálculo se debe tener en cuenta la definición de stock mínimo, es el valor mínimo de existencias que se debe tener para cumplir con la producción, a continuación se muestra cómo se calculan. El stock mínimo es el producto entre el día de reposición y el consumo diario.

$$S_{min} = C \times T$$

Donde:

C: Consumo de unidades trimestrales

T: Tiempo de reposición

Luego de realizar el stock mínimo se realiza el stock de seguridad y se le suma el factor de seguridad este puede variar dependiendo de las necesidades de la empresa, para el proyecto el stock es de suma importancia para no tener paradas por falta de repuestos, ya que como se explicó en el capítulo de indicadores la disponibilidad de los equipos debe ser mayor al 98,5%, las hora de paradas deben ser pocas, esto se puede garantizar teniendo los repuestos necesarios para disminuir las hora de parada, para el factor de seguridad se tomara el 10%,este porcentaje se obtuvo luego de un análisis del SAP bussiness one se concluyó que el porcentaje de repuestos para mantenimientos preventivos representa aproximadamente el 10% para el mantenimiento programado la formula se expresa de la siguiente forma:

$$S_s = S_m + 10\%$$

Donde:

S_s: stock de seguridad

S_m: stock mínimo

%: factor de seguridad (10%)

A continuación se expone un ejemplo de la formula, se realiza con el filtro de aceite para compresor b76, se llegó al consenso con la empresa de elaborar un estudio de repuestos trimestral, ya que la mayoría de los repuestos son importados y se deben pedir con tiempo, para filtro de aceite para compresor b76 se tiene que el consumo de unidades anuales es 19, este valor se divide en los 4 trimestres del año, lo cual da 4,75 y esto se multiplica por 1 ya que es un trimestre

$$S_{min} = 4,75 \text{ filtros} * 1 \text{ trimestre}$$

Debido a que se deben tomar valores enteros, para este caso nos da 5 filtros de aceite trimestrales, para realizar el stock de seguridad:

$$S_s = 5 \text{ filtros de aceite} + 10\% = 6 \text{ filtros de aceite}$$

Cuadro 39 Cálculo de stock mínimo y de seguridad

| N° | Codigo | Descripción | consumo anual | Tiempo de reposición (meses) | Stock minimo | Precio por Unidad | Costo Sm | Stock de seguridad | Costo Ss |
|----|------------------|--|---------------|------------------------------|--------------|-------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| 1 | 29007 | Filtro de aceite para compresor b76 | 19 | 3 | 5 | \$ 16.808,33 | \$ 84.041,64 | 6 | \$ 92.446 |
| 2 | 29010 | Filtro erm pequeño (largo: 12.5 cms x 7.5 cms diam ext.) | 16 | 3 | 4 | \$ 7.985,00 | \$ 31.940,00 | 4 | \$ 35.134 |
| 3 | 29011 | Filtro de gases carter | 16 | 3 | 4 | \$ 15.166,61 | \$ 60.666,44 | 4 | \$ 66.733 |
| 4 | 29012 | Filtro surtidor doble anillo | 63 | 3 | 16 | \$ 63.523,35 | \$ 1.016.373,67 | 18 | \$ 1.118.011 |
| 5 | 29017 | Filtro coalescente de salida | 36 | 3 | 9 | \$ 114.855,21 | \$ 1.033.696,91 | 10 | \$ 1.137.067 |
| 6 | A-11964 | Rider ring, 3-1/2 m.p .250w | 20 | 3 | 5 | \$ 443.086,24 | \$ 2.215.431,20 | 6 | \$ 2.436.974 |
| 7 | A-7171 | Rider ring, 3"jg:a:n:q:sg" | 18 | 3 | 5 | \$ 393.753,88 | \$ 1.968.769,42 | 6 | \$ 2.165.646 |
| 8 | B-0003 | Sleeve brg,bz,rod,jg (buje de biela) | 18 | 3 | 5 | \$ 188.124,45 | \$ 940.622,25 | 6 | \$ 1.034.684 |
| 9 | CXIM100090A001A | Aro rider ring m100 diam 90 | 6 | 3 | 2 | \$ 757.649,00 | \$ 1.515.297,99 | 2 | \$ 1.666.828 |
| 10 | CXIA05T045A001A | Piston ring a05t 45 | 5 | 3 | 2 | \$ 421.319,04 | \$ 842.638,09 | 2 | \$ 926.902 |
| 11 | CXIA05T045A002A | Wear band a05t dim45 | 1 | 12 | 1 | \$ 356.948,02 | \$ 356.948,02 | 1 | \$ 392.643 |
| 12 | CXRBIEL000H001A | Buje de biela [b-0003] | 2 | 3 | 1 | \$ 467.916,26 | \$ 467.916,26 | 1 | \$ 514.708 |
| 13 | CXIM100000VS01AK | Kit valvula de succion cilindros m100 52rx | 4 | 3 | 1 | \$ 245.537,68 | \$ 245.537,68 | 1 | \$ 270.091 |
| 14 | CXIM100000VD01AK | Kit valvula de descarga cilindros m100 52rx | 4 | 3 | 1 | \$ 342.730 | \$ 342.729,63 | 1 | \$ 377.003 |
| 15 | CXIA05T050VO01AK | Kit valvula concentrica cil. a05t 45 | 1 | 12 | 1 | \$ 279.225,09 | \$ 279.225,09 | 1 | \$ 307.148 |
| 16 | CXRBIEL000J001A | Cojinete de biela | 4 | 3 | 1 | \$ 84.320 | \$ 84.320,27 | 1 | \$ 92.752 |
| 17 | CXU0000CIGJ003A | Cojinete de bancada | 3 | 3 | 1 | \$ 143.646,80 | \$ 143.646,80 | 1 | \$ 158.011 |
| 18 | CXU0000CIGJ004A | Cojinete de bancada axial | 1 | 12 | 1 | \$ 70.274,38 | \$ 70.274,38 | 1 | \$ 77.302 |
| 19 | B-2647-K | rblt kit,pist rod pkg,1.125 | 7 | 12 | 2 | \$ 1.617.948,24 | \$ 3.235.896,47 | 2 | \$ 3.559.486 |
| 20 | KB-3374-S | Kit,vlv, 52rx ny | 6 | 3 | 2 | \$ 171.798,28 | \$ 343.596,55 | 2 | \$ 377.956 |
| 21 | KB-3590-P | Kit,vlv, 52rx pk | 6 | 3 | 2 | \$ 400.143,59 | \$ 800.287,18 | 2 | \$ 880.316 |
| 22 | KB-3712-P | Kit,vlv, 52rx pk | 5 | 3 | 2 | \$ 388.158,32 | \$ 776.316,65 | 2 | \$ 853.948 |
| 23 | KB-4087-AA | Kit,vlv, 52rx ,mtx | 2 | 3 | 1 | \$ 164.722,76 | \$ 164.722,76 | 1 | \$ 181.195 |
| 24 | KB-1967-E | Kit,vlv,conc,062/030 1-1/2 | 5 | 3 | 2 | \$ 553.968,98 | \$ 1.107.937,97 | 2 | \$ 1.218.732 |
| 25 | A-7037 | Piston ring, 1-1/2jg:sg,pk,sj | 30 | 3 | 8 | \$ 860.111,58 | \$ 6.880.892,68 | 9 | \$ 7.568.982 |
| 26 | A-6030 | Wear band, 1-1/2jg:sg | 5 | 3 | 2 | \$ 254.714,76 | \$ 509.429,53 | 2 | \$ 560.372 |
| 27 | KB-0882-H | Kit,vlv, 52rx | 1 | 12 | 1 | \$ 130.396,00 | \$ 130.396,00 | 1 | \$ 143.436 |

El cuadro anterior muestra los 27 primeros repuestos y su correspondiente cálculo de stock mínimo y stock de seguridad con costos, los otros repuestos se encuentran en el anexo K.

8.3 ¿CUÁNTO PEDIR?

La empresa no se puede quedar sin stock de repuestos, pero por otro lado si se piden más de los repuestos necesarios se incrementan los costos por insumos inactivos, para solucionar este cuestionamiento se realiza un cálculo, cabe aclarar que este cálculo se realiza cuando se disminuye el inventario del stock de seguridad, el resultado logra un abastecimiento oportuno y estratégico.

Para realizar el cálculo de cuanto pedir se elaboró una serie de ecuaciones, a continuación se expone la fórmula de gasto en pesos necesarios para sostener un peso de inventario:

$$I = \frac{\text{Gastos del almacen}}{\text{Inventario total de repuestos}}$$

Para obtener los gastos totales del almacén hay que tener en cuenta los costos labor hombre, los servicios públicos, el costo del dinero y el deterioro de los repuestos.

El salario del almacenista es de \$700.000 incluyendo prestaciones de ley, para el costo de los servicios públicos se realizó un promedio del año 2015, el cual dio como resultado \$150.000, el efectivo anual del 2015 fue del 30% y el costo del deterioro es 1% del costo total del inventario.

Para el ejemplo se tomó el filtro para compresor b46 de código interno 29007, los datos de entrada son:

P\$=costo del almacenista por hora se multiplica por 2 porque se cuenta con dos almacenistas

$$P\$ = 700,000 \$ / \text{mes} \times 1/30 \text{ mes/día} \times 1/8 \text{ día/ hora} = \$2.917\$/\text{hora} \times 2 = 5.833 \$/\text{hora}$$

Y=consumo anual de cada repuesto, este dato fue obtenido de los archivos del planeador

$$Y = 19 \text{ filtros}$$

C=es el valor unitario del repuesto

$$C = \$16.808$$

Se calcula I con la ecuación anteriormente expuesta

$$I = \frac{(700,000 \$/\text{año} * 12 \text{ mes}/\text{año}) + (150,000 \$/\text{año} * 12 \text{ mes}/\text{año}) + (168,611,380 \$/\text{año} * 30\%) + (168,611,380 \$/\text{año} * 1\%)}{168,611,380 \$/\text{año}}$$

El valor de 168,611,380 es el costo del inventario por año

$$I = 0,37$$

Para realizar el cálculo de ¿Cuánto pedir? Se tiene la siguiente formula:

$$L = \sqrt{\frac{2 * P\$ * Y}{C * I}}$$

Donde:

L=cantidad mínima de repuestos a pedir

C= valor unitario de cada repuesto

I=gastos necesarios para mantener el almacén

Ejemplo:

$$L = \sqrt{\frac{2 * 5.833 \$/\text{hora} * 19 \text{ filtros}/\text{año}}{16.808 \$/\text{filtro} * 0,37}}$$

$$L = 6 \text{ filtros}/\text{año}$$

En el siguiente cuadro se expone el cálculo de 26 repuestos, los cálculos de los otros repuestos se encuentran en el anexo k:

Cuadro 40. ¿Cuánto pedir?

| No | Codigo interno | Descripción | consumo anual | Cuanto pedir (L) |
|----|------------------|--|---------------|------------------|
| 1 | 29007 | filtro de aceite para compresor b76 | 19 | 6 |
| 2 | 29010 | filtro erm pequeño (largo: 12.5 cms x 7.5 cms diam ext.) | 16 | 8 |
| 3 | 29011 | filtro de gases carter | 16 | 6 |
| 4 | 29012 | filtro surtidor doble anillo | 63 | 6 |
| 5 | 29017 | filtro coalescente de salida | 36 | 4 |
| 6 | A-11964 | rider ring, 3-1/2 m:p .250w | 20 | 2 |
| 7 | A-7171 | rider ring, 3""jg:a:n:q:sg" | 18 | 2 |
| 8 | B-0003 | sleeve brg,bz,rod,jg (buje de biela) | 18 | 2 |
| 9 | CXIM100090A001A | aro rider ring m100 diam 90 | 6 | 1 |
| 10 | CXIA05T045A001A | piston ring a05t 45 | 5 | 1 |
| 11 | CXIA05T045A002A | wear band a05t dim45 | 1 | 1 |
| 12 | CXRBIEL000H001A | buje de biela [b-0003] | 2 | 1 |
| 13 | CXIM100000VS01AK | kit valvula de succion cilindros m100 52rx | 4 | 1 |
| 14 | CXIM100000VD01AK | kit valvula de descarga cilindros m100 52rx | 4 | 1 |
| 15 | CXIA05T050VO01AK | kit valvula concentrica cil. a05t 45 | 1 | 1 |
| 16 | CXRBIEL000J001A | cojinete de biela | 4 | 2 |
| 17 | CXU0000CIGJ003A | cojinete de bancada | 3 | 1 |
| 18 | CXU0000CIGJ004A | cojinete de bancada axial | 1 | 1 |
| 19 | B-2647-K | rblid kit,pist rod pkg,1.125 | 7 | 1 |
| 20 | KB-3374-S | kit,vlv, 52rx ny | 6 | 2 |
| 21 | KB-3590-P | kit,vlv, 52rx pk | 6 | 1 |
| 22 | KB-3712-P | kit,vlv, 52rx pk | 5 | 1 |
| 23 | KB-4087-AA | kit,vlv, 52rx ,mtx | 2 | 1 |
| 24 | KB-1967-E | kit,vlv,conc,062/030 1-1/2 | 5 | 1 |
| 25 | A-7037 | piston ring, 1-1/2jg:sg,pk,sj | 30 | 2 |
| 26 | A-6030 | wear band, 1-1/2jg:sg | 5 | 1 |

8.4 ¿CUÁNDO PEDIR?

Para conocer esta respuesta primero se debe conocer el número óptimo de pedidos por año, este valor se consigue con la siguiente ecuación.

$$N=C/L$$

Donde:

N= Número óptimo de pedidos por año

L= Cuanto pedir

C= Consumo anual

Para el caso del ejemplo anterior:

$$N= (19 \text{ filtros/año}) / (6 \text{ filtros/año})= 3,18$$

Para ¿cuándo pedir? se tiene la siguiente formula

$$Q=L/C$$

Donde:

Q= Cuando pedir

Ejemplo:

$$Q= (6 \text{ filtros/año})/ (19 \text{ filtros/año})= 0,31$$

A continuación se muestran los valores de los primeros 26 repuestos, los resultados de los otros repuestos se encuentran en el anexo K.

Cuadro 41. ¿Cuándo pedir?

| No | Codigo interno | Descripción | consumo anual | Cuanto pedir (L) | Numero optimo de pedidos al año |
|----|------------------|--|---------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 29007 | filtro de aceite para compresor b76 | 19 | 6 | 4 |
| 2 | 29010 | filtro erm pequeño (largo: 12.5 cms x 7.5 cms diam ext.) | 16 | 8 | 2 |
| 3 | 29011 | filtro de gases carter | 16 | 6 | 3 |
| 4 | 29012 | filtro surtidor doble anillo | 63 | 6 | 11 |
| 5 | 29017 | filtro coalescente de salida | 36 | 4 | 9 |
| 6 | A-11964 | rider ring, 3-1/2 m.p .250w | 20 | 2 | 10 |
| 7 | A-7171 | rider ring, 3""jg:a:n:q:sg" | 18 | 2 | 9 |
| 8 | B-0003 | sleeve brg,bz,rod,jg (buje de biela) | 18 | 2 | 9 |
| 9 | CXIM100090A001A | aro rider ring m100 diam 90 | 6 | 1 | 6 |
| 10 | CXIA05T045A001A | piston ring a05t 45 | 5 | 1 | 5 |
| 11 | CXIA05T045A002A | wear band a05t dim45 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | CXRBIEL000H001A | buje de biela [b-0003] | 2 | 1 | 2 |
| 13 | CXIM100000VS01AK | kit valvula de succion cilindros m100 52rx | 4 | 1 | 4 |
| 14 | CXIM100000VD01AK | kit valvula de descarga cilindros m100 52rx | 4 | 1 | 4 |
| 15 | CXIA05T050VO01AK | kit valvula concentrica cil. a05t 45 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | CXRBIEL000J001A | cojinete de biela | 4 | 2 | 2 |
| 17 | CXU0000CIGJ003A | cojinete de bancada | 3 | 1 | 3 |
| 18 | CXU0000CIGJ004A | cojinete de bancada axial | 1 | 1 | 1 |
| 19 | B-2647-K | rbld kit,pist rod pkg,1.125 | 7 | 1 | 7 |
| 20 | KB-3374-S | kit,vlv, 52rx ny | 6 | 2 | 3 |
| 21 | KB-3590-P | kit,vlv, 52rx pk | 6 | 1 | 6 |
| 22 | KB-3712-P | kit,vlv, 52rx pk | 5 | 1 | 5 |
| 23 | KB-4087-AA | kit,vlv, 52rx ,mtx | 2 | 1 | 2 |
| 24 | KB-1967-E | kit,vlv,conc,062/030 1-1/2 | 5 | 1 | 5 |
| 25 | A-7037 | piston ring, 1-1/2jg:sg,pk,sj | 30 | 2 | 15 |
| 26 | A-6030 | wear band, 1-1/2jg:sg | 5 | 1 | 5 |

9. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

El objetivo de este capítulo es mostrar las estrategias del plan y su cronograma de implementación, al inicio del proyecto se elaboraron varias actividades como la codificación de equipos y un análisis para definir los equipos a los cuales se prestaría más atención por su criticidad dentro de la empresa, también se realizaron formatos de mantenimiento que brindan información al área de mantenimiento, con el fin de realizar cronogramas de actividades preventivas por medio del planeador, además hay que tener en cuenta que se realizaron actividades planificadas de inspección, lubricación, limpieza y ajuste, todos estas actividades son la base para la optimización.

9.1 ESTRATEGIAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Se realizaron estrategias para optimizar el mantenimiento y lograr reducir costos, lo primero que se realizo fue disminuir los mantenimientos correctivos, por medio de mantenimiento programado y planes sistemáticos de inspección, lubricación, ajuste y limpieza, en el capítulo 6 se mencionan y se realizan balances de cargas donde se muestran las actividades a realizar, con ayuda del planeador se logró incluir estas actividades dentro de las asignaciones de trabajo de la empresa, y los técnicos en la actualidad se encuentran realizándolos, a continuación se mostraran las estrategias que se utilizaron para la implementación.

9.1.1 Capacitaciones. Con el fin de que en el departamento de mantenimiento conozcan los temas relacionados a la optimización del mantenimiento que se realizó, se generaron capacitaciones en las cuales se trataron los puntos más importantes de mejora.

- ✓ Formatos de mantenimiento
- ✓ Procedimientos de mantenimiento
- ✓ Programa sistemático de inspección, lubricación, ajuste y limpieza

A continuación se anexa evidencia fotográfica de la capacitación y el formato de asistencia para la capacitación de los formatos de mantenimiento. Las capacitaciones de las otras ciudades las realizara el coordinador de la zona.

Foto 4. Capacitaciones



Foto 5. Control de asistencia capacitaciones

| | | |
|---|------------------------------|---|
| | CONTROL DE ASISTENCIA | Código: FOT-TAHU-07 Versión: 5 Página: 1 de 1 |
| FECHA: <u>11-04-16</u> | HORARIO: <u>8:00 - 10:00</u> | CIUDAD: <u>Bogota</u> |
| INSTRUCTOR: <u>Camilo Gasca / Cesar Velasco</u> | | LUGAR: <u>Oficina Surpetroil</u> |
| FIRMA: <u>[Signature]</u> / <u>[Signature]</u> | | |

- TEMA: 1. Formatos de mantenimientos
2. Flujograma de procedimiento
3. Programas sistematicos

| No | NOMBRE Y APELLIDOS | CEDULA | CARGO | EMPRESA | TELEFONO | CORREO ELECTRONICO | FIRMA |
|----|-----------------------|------------|---------------------------|------------|------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | Diana M. Amilla S | 1019009546 | Facturacion y Cartero | Surpetroil | 4123300 | dianilla@surpetroil.com | [Signature] |
| 2 | Melissa Alvarez R | 102656384 | Tec. Mto | Surpetroil | 4123800 | melissa@surpetroil.com | [Signature] |
| 3 | Alex Ortega Mongons | 85480911 | Tec. Mto | Person. | 313 886417 | alexortega@surpetroil.com | [Signature] |
| 4 | Andres Murcia | 1030533102 | Tec Mto | Surpetroil | 313886417 | andresmurcia@surpetroil.com | [Signature] |
| 5 | Diana Alcaide | 52519284 | ADMINISTRATIVA SUPERVISOR | Surpetroil | 3103332220 | dianamaria@surpetroil.com | [Signature] |
| 6 | Leidy Yohana Gonzalez | 53117282 | AUX ADMINISTRATIVA | SURPETROIL | 313886417 | leidy@surpetroil.com | [Signature] |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |

OBSERVACIONES:

9.1.2 Procedimiento de mantenimiento. El procedimiento inicia mediante los contratos firmados y/o cotizaciones aprobadas solicitadas por el cliente en donde se ofrece mantenimiento programado y actividades de instrumentación por cumplimiento de ley. Los mantenimientos programados están divididos en dos: mantenimientos programados por horas de operación y mantenimientos preventivos periódicos

9.1.2.1 Mantenimientos programados por horas de operación. En el software de mantenimiento se deben ingresar las horas de operación de los equipos; con esta información se genera el plan de mantenimiento en el software.

Las actividades de mantenimiento periódicos (Servicio), Se refieren a las actividades programadas en los equipos de acuerdo a las horas de trabajo especificadas por el fabricante, estos son conocidas como servicio de mantenimiento. Los cuales se encuentran adjuntos en el Anexo A.

9.1.2.2 Mantenimiento preventivo. Estos mantenimientos incluyen rutinas de inspección, ajuste limpieza, y de lubricación. Estos mantenimientos hacen referencia a los que se realizan en repeticiones calendarías, esta inspección no solo se limita a elementos técnicos de los equipos, si no también se inspeccionan certificados de calidad como pruebas hidrostáticas a los cilindros de almacenamiento interno, entre otras, con el fin de cumplir con la parte de seguridad industrial.

Figura 42. Flujo de actividades

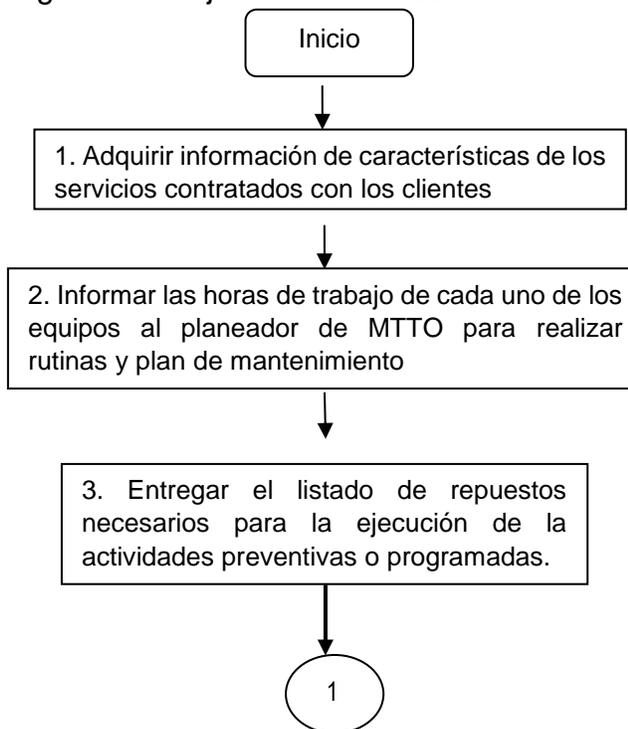


Figura 42. (Continuación)

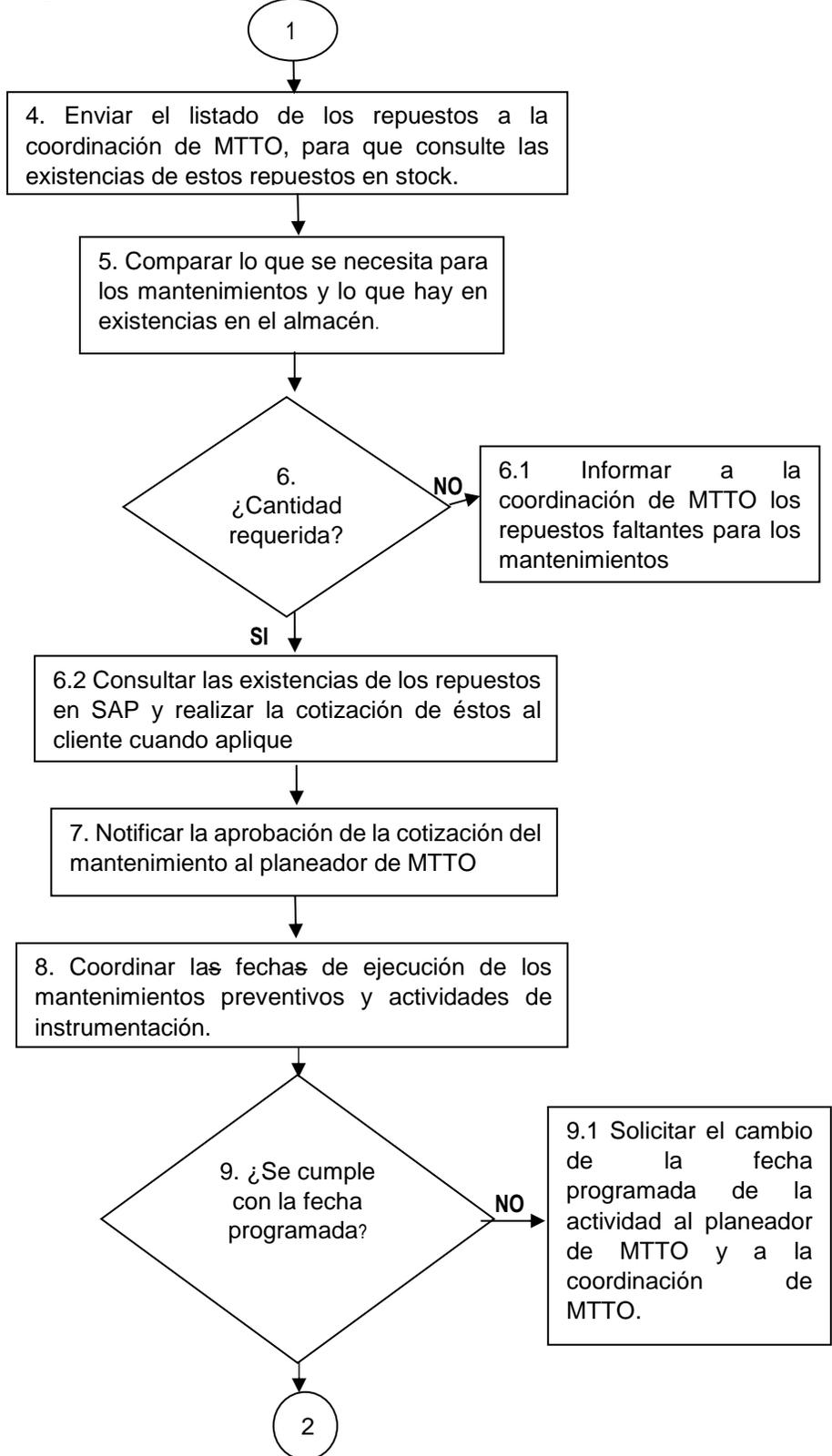


Figura 42. (Continuación)

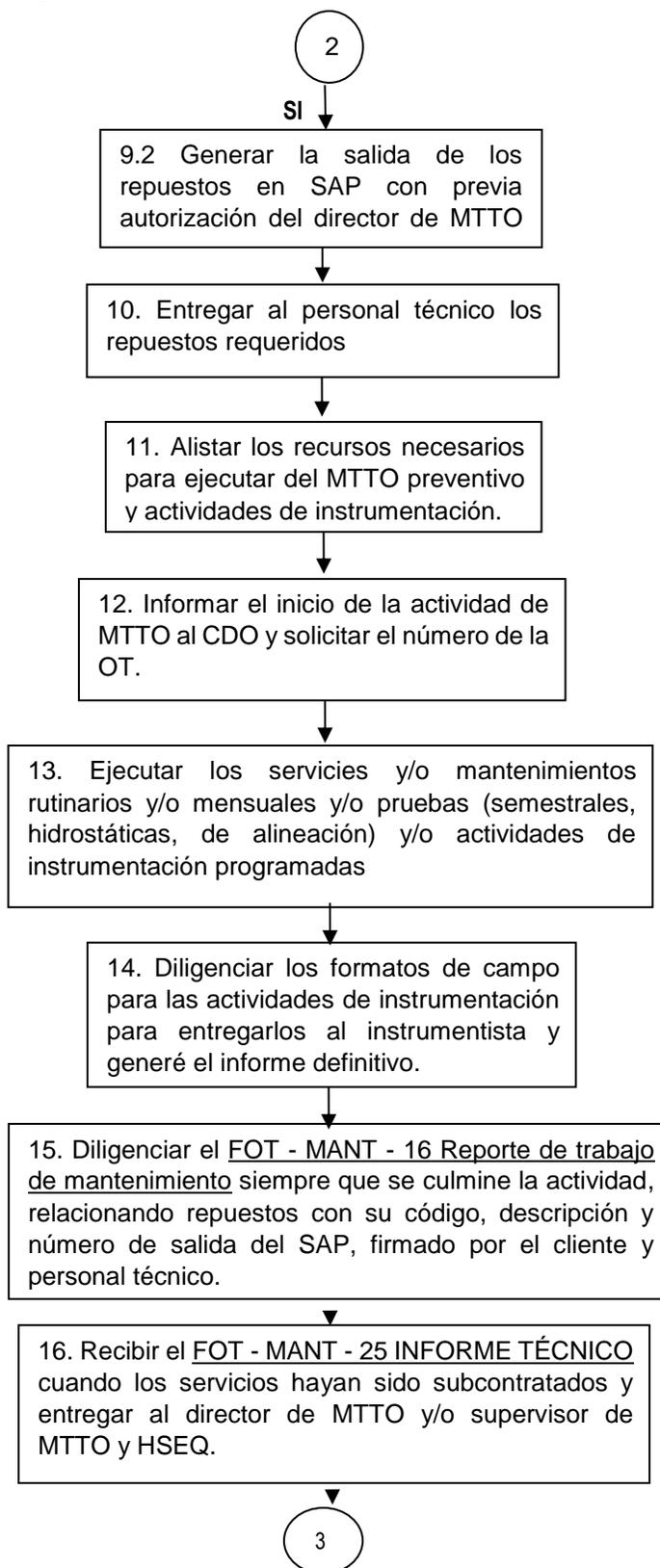


Figura 42. (Continuación)

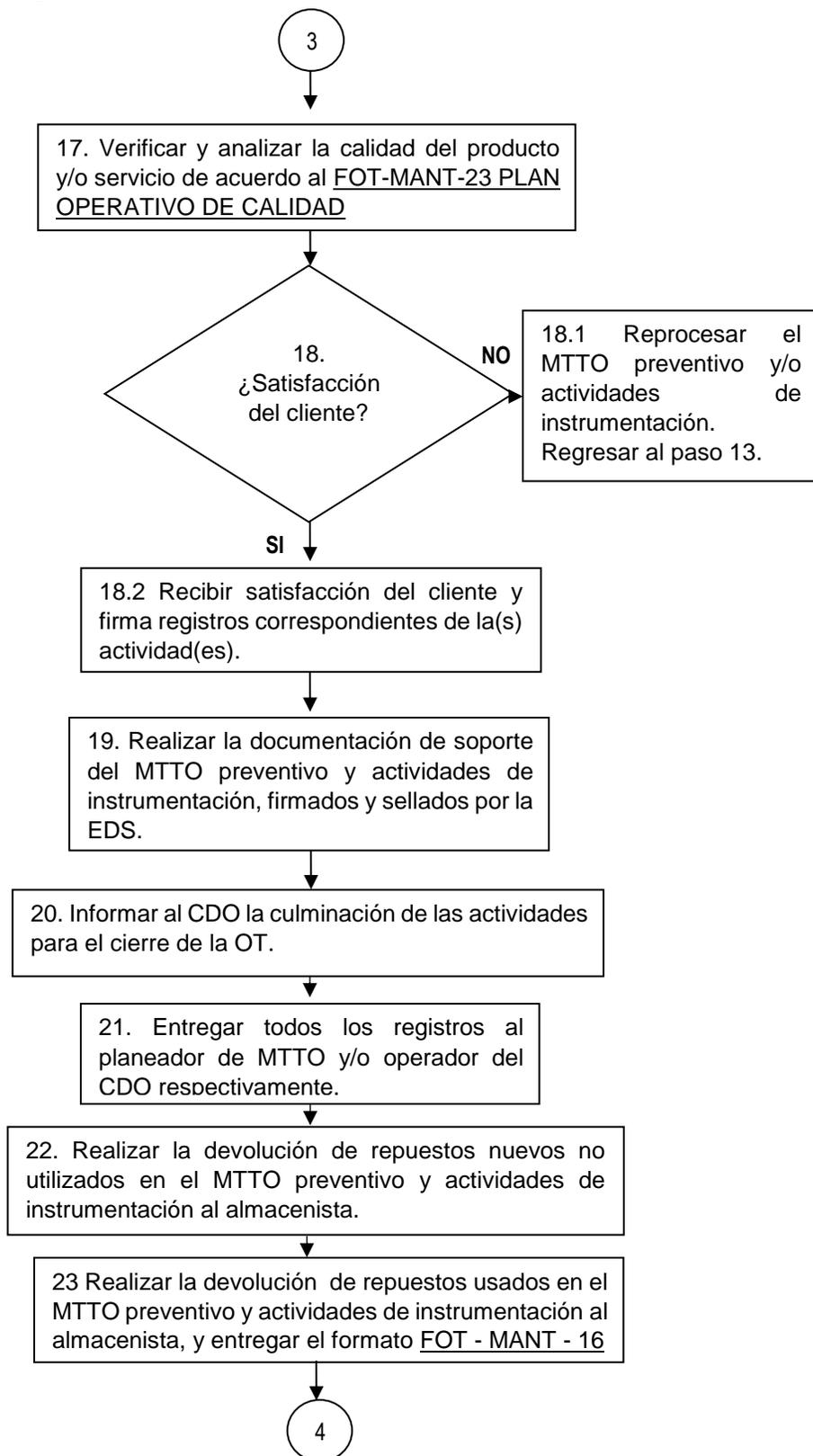
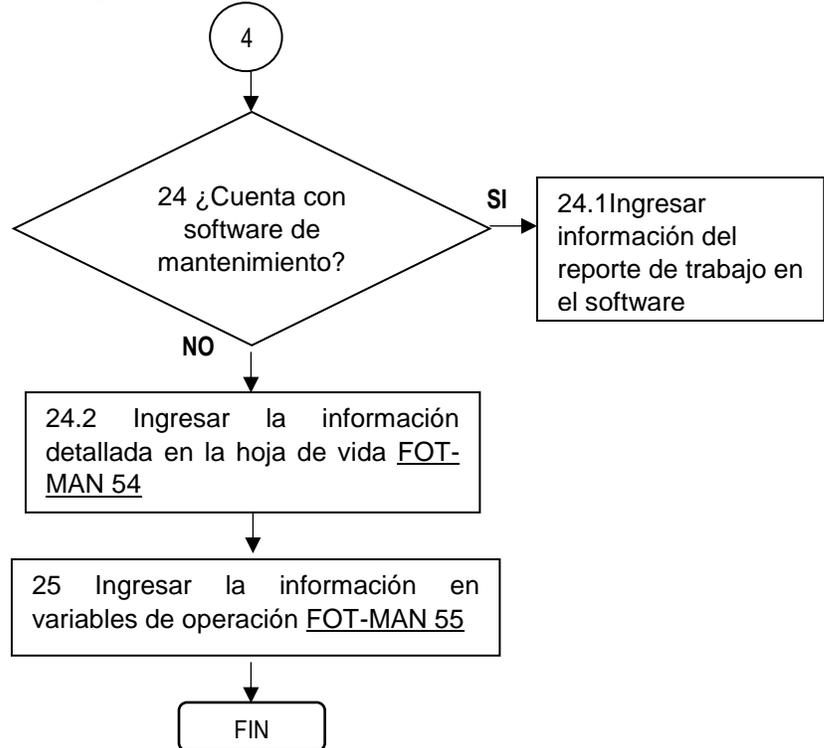


Figura 42. (Continuación)



El formato FOT-MAN 25 que se menciona en la figura 42, es un formato interno de la empresa, que se realiza cuando se subcontratan servicios, lo diligencia la empresa subcontratada y se archiva con el fin de mantener los parámetros de calidad, el formato se encuentra adjunto en el anexo D.

El organigrama de mantenimiento no se modificó, sin embargo, se le recomendó a la Gerencia de mantenimiento distribuir los técnicos por EDS, con el fin de generar responsabilidad a los técnicos sobre el mantenimiento de cada una de ellas.

9.1.3 Manejo de equipos de inspección. También se le recomendó a la gerencia de mantenimiento la capacitación de personal para el uso de instrumentos de inspección, ya que se cuenta con cámara de termografía y un analizador de vibraciones pero se utiliza muy poco por falta de personal capacitado, sin embargo, para los análisis de aceite planteados en el capítulo 6 se recomienda solicitar pruebas al proveedor de aceites.

9.1.4 Indicadores. Se le recomienda a la Gerencia de mantenimiento no solo darle importancia a la disponibilidad como se habló en el capítulo 7, si no también es importante realizar con frecuencia la mantenibilidad, y la confiabilidad, que desarrollando estos tres indicadores universales, se mostraron los resultados de la optimización, con la mantenibilidad se aumentaron las horas de inspección pero se disminuyeron las fallas, y con la confiabilidad se genera confianza sobre la labor del

departamento de mantenimiento con los clientes, esta estrategia se desarrolló de forma completa en el capítulo 7

9.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para la implementación de tres meses del 1 de diciembre de 2.015 al 29 de febrero de 2.016 se realizaron actividades como charlas con las directrices de mantenimiento, programas sistemáticos y capacitaciones al área.

Las charlas con las directrices de mantenimiento se centraron en revisar la información de la implementación donde iba a centrarse los recursos técnicos y económicos y sus expectativas de la optimización, la empresa se encontró muy interesada desde un principio en mejorar este departamento y reducir costos , contando con su aprobación se acordó realizar el cronograma que se muestra a continuación, también cabe aclarar que en estos tres meses de implementación no se realizaron los programas sistemáticos de mantenimiento, estos programas se realizaran desde abril del 2.016, se recomienda seguirlo haciendo para seguir con la implementación en el futuro, para la elaboración del cronograma se centró en los siguientes objetivos.

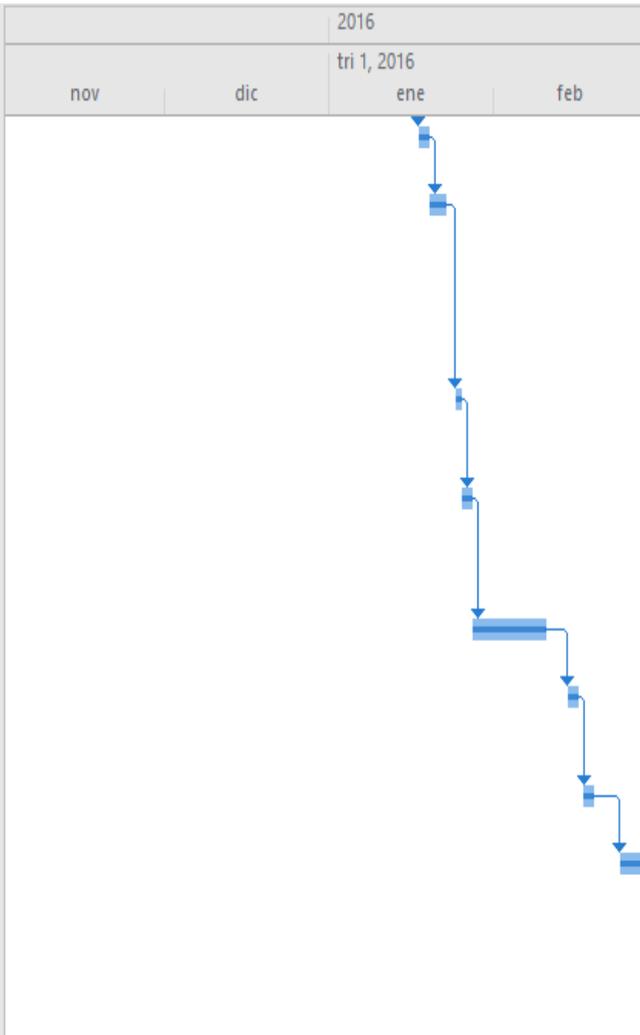
- ✓ Realización de capacitaciones
- ✓ Personal de mantenimiento
- ✓ Funcionamiento del área de mantenimiento
- ✓ Resultados de la implementación

Tabla 8. Programa de implementación del plan de mantenimiento

| | i | Modo de tarea | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | 2016 | | | | |
|----|---|---------------|--|----------|--------------|--------------|------|--------------|--------------|-----|--|
| | | | | | | | nov | dic | ene | feb | |
| 1 | ✓ | → | Cronograma | 13 sem. | mar 1/12/15 | lun 29/02/16 | | [Barra azul] | | | |
| 2 | ✓ | → | Programa de implementación | 13 sem. | mar 1/12/15 | lun 29/02/16 | | [Barra azul] | | | |
| 3 | ✓ | → | Implementación (3 meses) | 13 sem. | mar 1/12/15 | lun 29/02/16 | | [Barra azul] | | | |
| 4 | ✓ | → | Charla informativa del sistema de mantenimiento con el gerente de mantenimiento | 1 día | mar 1/12/15 | mar 1/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 5 | ✓ | → | Capacitación de la estructura del sistema de mantenimiento planificado y el flujo de documentos de equipos y taller al área de mantenimiento | 2 días | jue 3/12/15 | vie 4/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 6 | ✓ | → | Organización de todas las solicitudes y ordenes de trabajo generadas durante la implementación | 4 días | lun 7/12/15 | jue 10/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 7 | ✓ | → | Resultados de la implantación del plan de mantenimiento para la empresa Surpetroil SAS | 4 días | vie 11/12/15 | mié 16/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 8 | ✓ | → | Estado de los equipos | 2 días | jue 17/12/15 | vie 18/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 9 | ✓ | → | Revisión de la trazabilidad de la información de mantenimiento | 1 día | lun 21/12/15 | lun 21/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 10 | ✓ | → | Resultados de las tareas de mantenimiento realizadas | 2 días | mar 22/12/15 | mié 23/12/15 | | | [Barra azul] | | |
| 11 | ✓ | → | Estructura del departamento de mantenimiento | 2 sem. | lun 28/12/15 | vie 8/01/16 | | | [Barra azul] | | |
| 12 | ✓ | → | Definir el personal de mantenimiento | 5 días | lun 11/01/16 | vie 15/01/16 | | | [Barra azul] | | |

Tabla 8 (Continuación)

| | i | Modo de tarea | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | 2016 | | | |
|----|---|---------------|---|----------|--------------|--------------|------|-----|-----|-----|
| | | | | | | | nov | dic | ene | feb |
| 13 | ✓ | → | Definir el perfil profesional del personal de mantenimiento | 2 días | lun 18/01/16 | mar 19/01/16 | | | | |
| 14 | ✓ | → | Determinar por medio de costos la mejor opción para determinar la contratación de personal fijo o contratistas para todas aquellas actividades planificadas | 3 días | mié 20/01/16 | vie 22/01/16 | | | | |
| 15 | ✓ | → | Determinar el personal que se encargara de los mantenimientos correctivos | 1 día | lun 25/01/16 | lun 25/01/16 | | | | |
| 16 | ✓ | → | Determinar el plan a futuro de capacitaciones para el personal del área en base a los programas sistemáticos | 2 días | mar 26/01/16 | mié 27/01/16 | | | | |
| 17 | ✓ | → | Funcionamiento del área de mantenimiento | 2 sem. | jue 28/01/16 | mié 10/02/16 | | | | |
| 18 | ✓ | → | Diagrama de actividades de mantenimiento correctivos, programados y planificados | 2 días | lun 15/02/16 | mar 16/02/16 | | | | |
| 19 | ✓ | → | Responsables del área de mantenimiento | 2 días | jue 18/02/16 | vie 19/02/16 | | | | |
| 20 | ✓ | → | Descripción de los recursos necesarios para poner en marcha las tareas de mantenimiento(herramientas, espacios, gestión y logística entre otros) | 3 días | jue 25/02/16 | lun 29/02/16 | | | | |



10. EVALUACIÓN DE SOFTWARE

Actualmente la empresa maneja todos los documentos en físico y otros en documentos en Excel, debido a la cantidad de EDS, además que se encuentran en diferentes ciudades, que se están presentando muchos mantenimientos correctivos y que el software actual no es eficiente, la empresa se ve en la necesidad de seleccionar un nuevo software de mantenimiento.

10.1 BASE DE DATOS

La base de datos se diseñó únicamente para el área de mantenimiento, se realizó con la finalidad de que en un futuro sirva como soporte para la parametrización del software de mantenimiento, además que sirve como apoyo para alimentar parte del mismo, esto servirá como soporte para conocer el antes y el después de la implementación del software.

Además los documentos quedaron en el programa Microsoft Excel 2013, porque es un formato fácil de trasladar a la mayoría del software de mantenimiento.

A continuación se presenta la distribución de la base de datos:

- ✓ Códigos de equipos: Esta información se encuentra en el Anexo B
- ✓ Formatos de mantenimiento: se encuentran en el Anexo D
- ✓ Reportes de mantenimiento: ubicados en el Anexo B
- ✓ Puntos de y rutinas de inspección: están en el Anexo E y Anexo F respectivamente
- ✓ Puntos y rutinas de ajuste y limpieza: ubicadas en el Anexo G y Anexo H respectivamente
- ✓ Puntos y rutinas de lubricación: se encuentran en el Anexo I y Anexo J respectivamente
- ✓ Repuestos: están en el Anexo K

10.2 ALTERNATIVAS DE SOFTWARE DE MANTENIMIENTO

La empresa cuenta actualmente con el software de mantenimiento Infom@nte, el software está enfocando en su totalidad al área de mantenimiento, pero no es eficiente debido que el software solo es alimentado y consultado por dos personas a nivel nacional, el CDO y por el planeador de mantenimiento, lo anterior incurre en que la información en el software sea poca y no sea veraz en su totalidad.

Para poder que el software sea alimentado y consultado por más personas es necesario comprar más licencias del software y además comprar licencias para conectarse remotamente al ordenador de la empresa, porque el software no opera por medio de una red WEB, él opera de una manera local. Se va realizar el análisis de este software pero aumentando su cobertura para conocer su viabilidad.

Además de Infom@nte, se incluyeron otras dos alternativas de software que satisfacen los requerimientos de la empresa, además se tendrá en cuenta aspectos y se destacara la importancia para la selección del software, dentro de los aspectos a tener en cuenta para la selección del software están;

Alcances del software, compatibilidad con la base de datos, número de usuarios por licencia, requerimientos técnicos, capacidad de expansión, costos y soporte técnico.

Para la selección del software los proyectistas se reunieron con los representantes del software.

10.2.1 Infom@nte. Es un sistema de información de mantenimiento soportado por la empresa Soporte & Compañía, tiene conceptos aplicables para una buena gestión aunque su formato no es amigable con los usuarios, ya que al momento de ingresar es necesario que el usuario tenga un amplio conocimiento para ingresar a la información de su interés lo cual requiere una capacitación mayor. El software ha sido implementado desde hace 20 años en más de 10 países y en empresas de diferentes áreas.

10.2.1.1 Características generales del software. Las principales características del software son:

- ✓ Control sobre la gestión de los activos
- ✓ Conocimiento del consumo de repuestos y materiales
- ✓ Informes y reportes gráficos para la gestión mantenimiento
- ✓ Envío de informes y reportes por correo electrónico
- ✓ Facilita el conocimiento detallado de los costos
- ✓ Automatización del plan de mantenimiento y presupuestos
- ✓ Administración del préstamo de herramientas y documentación
- ✓ Posibilidad de asociar cualquier tipo de archivo para documentación

10.2.1.2 Requerimientos técnicos del software. Dentro de los requerimientos mínimos y recomendados están:

Cuadro 42. Requerimientos técnicos infom@nte

| Característica | Mínimo | Recomendado |
|--------------------|---------|-------------|
| Procesador | Pentium | Pentium |
| RAM | 512 MB | 125mb |
| Espacio disco duro | 200MB | 1GB |

10.2.1.3 Costos software. infom@nte es el software que actualmente tiene la empresa por esta razón ya se cuenta con un número de licencias, en total tiene 5 licencias, por esa razón se cotizo 27 de las 32 que requiere la empresa, además se cotizaron unidades remotas para la integración de todos los computadores al software y solucionar el problema que tiene actualmente la empresa de que el software solo es alimentado por dos personas. Las cotizaciones enviadas por los representantes se encuentran adjuntas en el Anexo L

Cuadro 43. Costos de software infom@nte

| Infom@nte | | | |
|----------------|---|-----------|--------------|
| Cantidad | Concepto | V/r Uni | Total \$ |
| 1 | Actualización del Sistema integrado para la gestión de mantenimiento de activos infomante | 1.062.500 | 1.062.500 |
| 24 | Horas de capacitación | 160.000 | 3.840.000 |
| 1 | Convenio de asistencia y actualización por un año | 4.250.000 | 4.250.000 |
| 27 | Licencias de usuario | 2.520.000 | 68.040.000 |
| Total | | | 77.192.500 |
| Remoto | | | |
| Cantidad | Concepto | V/r Uni | Total \$ |
| 27 | Conección remota | US\$ 147 | US\$ 3969 |
| IVA - 16% | | | US\$ 635,04 |
| Total | | | US\$ 4604 |
| TRM | | | 3.086 |
| Total en pesos | | | \$14.209.873 |
| Total | | | \$91.402.373 |

10.2.2 SAMM (sistema de administración de mantenimiento moderno). La empresa de respaldo es IDEA soluciones, es una empresa líder en desarrollo de sistemas computarizados para administración de mantenimiento, tiene 14 años de operación, se enfoca en las empresas que buscan incrementar la eficiencia de su departamento de mantenimiento y servicio, orientado a la rentabilidad de la empresa, tomando

como base la información contenida en la solución de gestión de mantenimiento. El software evita pérdidas de tiempo en tareas repetitivas y obtiene una visión completa del estado del departamento.

10.2.2.1 Características generales del software. Dentro de las principales características están:

- ✓ Interface gráfica amigable
- ✓ Sistema estructurado en forma modular
- ✓ Control total sobre el flujo de servicio
- ✓ Fácil integración con los sistemas de información internos
- ✓ Seguimiento controlado del servicio
- ✓ Ciclo evolutivo constante
- ✓ Escalable de acuerdo a la empresa
- ✓ 100% Móvil:
- ✓ Flujo de documentos
- ✓ Análisis de información

10.2.2.2 Requerimientos técnicos del hardware y software. Dentro de los requerimientos mínimos y recomendados están:

Cuadro 44. Requerimientos técnicos SAMM

| Característica | Requerimiento |
|-----------------------------|---|
| Sistema Operativo | Microsoft Windows 2000 Server with Service Pack (SP) 4 or later; Windows XP Professional with SP 2 or later; Windows Server 2003 Standard Edition, Enterprise Edition, or Datacenter Edition with SP 1 or later; Windows Small Business Server 2003 with SP 1 or later; Microsoft Windows Server 2003 Standard x64 Edition, Enterprise x64 Edition, or Datacenter x64 Edition with SP 1 or later; Windows XP Professional x64 Edition or later running in Windows on Windows. |
| Servidor Web | Internet Information Services 5.0 o superior |
| Base de datos | Motor SQL Server, versiones Express, 2005 |
| Procesador | Pentium IV 1.8 GHz (Mínimo). Recomendado varios núcleos. |
| Espacio disponible en disco | 2Gb Mínimo. Recomendado 10Gb o superior |
| Memoria RAM | Mínimo 2Gb. Recomendado 4Gb o superior |
| Velocidad de Red | 100Mbps o superior |
| Conexión a Internet | Necesaria para la Instalación |

10.2.2.3 Costos software. A continuación se describen los costos del software, en el Anexo M se adjunta la cotización enviada por el representante.

Cuadro 45. Costos de software SAMM

| Descripción | Cnt. | Subtotal | Descuento | Total |
|---|------|--------------|---------------------|----------------------|
| Opcion Surpetroil- Valores implementación SAMM - Modulos Servicio, Inventario, Movimientos | | | \$ 1.270.000 | \$ 19.230.000 |
| Licencia SAMM Web - Módulo Servicio, Inventario, Movimientos, Comercial (Obsequio)) | 1 | \$ 9.500.000 | \$ 950.000 | |
| Horas de consultoria 45 capacitación - 20 formatos | 65 | \$ 7.800.000 | \$ 0 | |
| Licencias de usuario | 32 | \$ 3.200.000 | \$ 320.000 | |
| Adicionales opcionales | | | \$ 0 | \$ 2.440.000 |
| Plan soporte activo mensual x 1 año | 12 | \$ 1.440.000 | \$ 0 | |
| Punto de integracion solo lectura de articulos desde SAP | 1 | \$ 1.000.000 | \$ 0 | |
| | | | IVA | \$ 3.076.800 |
| | | | Total | \$ 22.306.800 |

Cabe recalcar que los gastos adicionales operacionales aplican a partir del segundo año.

10.2.3 INFOR EAM. Software de gestión de mantenimiento, el cual permite a las empresas administrar el ciclo de vida de sus activos, información y actividades de mantenimiento y servicio. Permite controlar activos de empresas enfocadas en distintas áreas. Infor es la tercera compañía privada de tecnología y el tercer proveedor de software empresarial del mundo con aplicaciones y servicios que ayudan a más de 73.000 empresas grandes y medianas a mejorar sus operaciones y lograr el crecimiento en numerosos sectores del mercado.

El software es utilizado por casa matriz, la empresa hace parte del grupo ICP, ellos recomendaron el software para la empresa.

10.2.3.1 Características generales del software. Dentro de las principales características están:

- ✓ Administración operativa de activos: Estructuras, trazabilidad, costos y control de garantías
- ✓ Administración de mantenimiento: Mantenimiento reactivo, preventivo, proactiva y predictivo
- ✓ Administración de MRO: Control de repuestos, consumibles, herramientas y movimientos
- ✓ Administración de compras: Requisiciones, cotizaciones y órdenes de compra

✓ Add On's: Movil, iPad, Android, (PDSAs), calibraciones, RCM

10.2.3.2 Requerimientos técnicos del hardware y software. Dentro de los requerimientos mínimos y recomendados están:

Cuadro 46. Requerimientos técnicos INFOR

| Característica | Mínimo | Recomendado |
|--------------------|---------|-------------|
| Procesador | Pentium | Pentium |
| RAM | 512 MB | 125mb |
| Espacio disco duro | 200MB | 1GB |
| Servidor Web (Mb) | 5 | 7 |

10.2.3.3 Costos software. A continuación se describen los costos del software, en el Anexo N se adjunta la cotización enviada por el representante.

Cuadro 47. Costos de software INFOR

| Item | Component System | Cantidad | Tipo | Precio (\$US) |
|------------------------|---|----------|-------------|-----------------------|
| 1 | Infor EAM Enterprise Edition - SQL | 23 | Named Users | 32.643,07 |
| 2 | Infor EAM Enterprise Edition Advanced Reporting Consumer | 23 | Named Users | 3.036,00 |
| 3 | Infor EAM Enterprise Edition Advanced Reporting Author | 1 | Named Users | 923,12 |
| 4 | Infor ION PROCESS with Business Vault | 1 | CPU Cores | 6.300,00 |
| 5 | Infor ION CONNECT3P 3rd party connectivity | 1 | CPU Cores | 6.300,00 |
| 6 | Infor ION SAP CONNECTOR | 1 | CPU Cores | 8.400,00 |
| 7 | Infor EAM Enterprise Edition Databridge and Remote Agent (Application Specific license) | 1 | Data Center | |
| Total licencias | | | | 57.602,19 |
| Soporte anual | | | | 11.520,44 |
| Total | | | | 69.122,63 |
| Iva-16% | | | | 11.059,62 |
| TRM | | | | 3.086,00 |
| Total en pesos | | | | 247.442.425,97 |

Debido a que INFOR es un software más desarrollado que los otros dos mencionados se necesitan por esa razón menos usuarios. Como se evidencia este último software tiene un valor más alto, esto radica en que está más enfocado en el manejo de activos y además es un software que esta rankeado entre los mejores a nivel mundial.

Para la selección del software se realizó una presentación a la empresa, en la que estuvo la Gerencia general, comercial, operaciones y mantenimiento, además se incluyeron a él planeador de mantenimiento, al coordinador de mantenimiento y por ultimo al área de proyectos. Con la finalidad que entre todos se seleccionara el software que más se ajustara a las necesidades de la empresa, en el anexo O se adjunta la presentación realizada. Luego de esta reunión se llegó a la conclusión que el software a implementar es SAMM. A continuación se adjunta la página de presentación de la reunión.

Foto 6. Presentación de software



11. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

En el siguiente capítulo se realizó la evaluación financiera del proyecto, para evaluar su viabilidad e implementación en la empresa, para demostrar la viabilidad financiera se realizó una comparación de los costos por indisponibilidad por fallas en las estaciones que fueron valoradas críticas en el capítulo 3, comparando el periodo anterior de la implementación y durante la implementación, el indicador financiero utilizado fue el VPN, valor presente neto.

11.1 INVERSION INICIAL DEL PROYECTO

Para establecer los costos de inversión del proyecto, se analizaron los gastos de implementación, en los cuales se incluyen elementos usados para esta, recurso humano, fungibles y otros valores.

A continuación se muestra el cuadro donde se especifican los valores anteriormente descritos.

Cuadro 48. Costo inversión inicial

| ITEMS | UNIDAD | CANTIDAD | VR/ Unidad (\$) | TOTAL (\$) |
|-----------------------------------|---------|----------|--------------------|---------------|
| Talento Humano | | | | |
| Proyectista | H-H | 3428 | 7.000 | 23.996.000 |
| Orientador | H-H | 50 | 15.000 | 750.000 |
| Total Talento Humano (\$) | | | | 24.746.000 |
| Gastos maquinaria y equipo | | | | |
| Computador | H | 3000 | 1.000 | 3.000.000 |
| Software | H | 2800 | 1.000 | 2.800.000 |
| Total Maquinaria y Equipo (\$) | | | | 5.800.000 |
| Fungibles | | | | |
| Libros | Unidad | 1 | 35.000 | 35.000 |
| Papel | Resma | 10 | 10.000 | 100.000 |
| Tinta | Paginas | 3500 | 30 | 105.000 |
| Internet | H | 480 | 1500 | 720.000 |
| Total Fungibles (\$) | | | | 960.000 |

Cuadro 48 (continuación)

| Otros Gastos | | | | |
|----------------------------|---------|------------|-------|-----------|
| Servicios públicos | H | 2000 | 250 | 500.000 |
| Trasporte | Pasajes | 400 | 2.000 | 800.000 |
| Total Otros Gastos (\$) | | | | 1.300.000 |
| TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS | | 32.806.000 | | |
| Imprevistos 4% | | 1.312.240 | | |
| COSTO TOTAL DEL PROYECTO | | 34.118.240 | | |

11.2 COSTO HORA INDISPONIBILIDAD

Para el costo hora indisponibilidad se tienen en cuenta varios factores, los cuales se pueden medir con algunos indicadores, entre estos está tiempo perdido, producción pérdida, incidencia de calidad en el producto, análisis de criticidad y costos de mantenimiento. Conocer el costo hora indisponibilidad permite saber cuánto deja de ganar la empresa en una hora por no utilizar una máquina, debido a actividades de mantenimiento causadas por las fallas.

En este caso el cálculo del costo hora indisponibilidad de los equipos se hace de manera diferente a la convencional, porque los equipos no están directamente involucrados con el costo de producción y además la venta de combustible es por parte del cliente, Surpetroil SAS solo se encarga del mantenimiento, por esta razón el costo hora indisponibilidad se calculó de acuerdo al valor que tiene el alquiler de estos equipos en una hora, dentro de los parámetros está incluido el transporte del equipo al sitio, pero lo que no se incluye es el transporte de los técnicos a la locación cuando ocurre la falla, esto es importante tener en cuenta debido a la distribución de las estaciones de servicio. A continuación se expone la fórmula:

$$CHI = Alquiler/Hora$$

Para obtener los valores de renta de equipos se tuvo en cuenta lo que cobra la empresa Surpetroil SAS para el alquiler de estos, los valores varían principal depende a la capacidad de caudal que es capaz de comprimir cada equipo. Por ejemplo los Microbox tienen una capacidad de $700 m^3/h$, mientras que los Nanobox tienen una capacidad de $250 m^3/h$, los valores de alquiler mensual de estos equipos son 35 millones y 23 millones respectivamente. A continuación se expone los valores del costo hora indisponibilidad:

Cuadro 49. Alquiler equipos por hora

| Tipo equipo | Alquiler/hora |
|-------------|---------------|
| Microbox | \$ 48.611 |
| Nanobox | \$ 31.944 |

11.3 COSTO HORA TRASPORTE

Para tener un valor más aproximado es importante tener en cuenta que los equipos están distribuidos en muchas partes a nivel nacional, por esta razón es importante también incluir el tiempo de trasporte de los técnicos a las EDS. Para este proyecto el costo trasporte por falla esta dado así:

$$\frac{\text{Costo transporte}}{\text{falla}} = \left(\frac{\text{Costo Combustible}}{\text{Hora}} + \frac{\text{Costo hombre}}{\text{Hora}} \right) * \text{Hora de transporte}$$

Para el costo hora combustible, lo primero es tener en cuenta que son vehículos con un cilindraje 1600 cm^3 , el precio promedio de un galón está en \$ 7.600, en una hora en promedio se consume medio galón, con lo anterior el costo del combustible por hora da un promedio de \$ 3.800/hora.

El costo hora hombre es obtenido con el salario mensual por técnico, el costo hora hombre es de: \$ 5.000/hora.

En la empresa todos los meses miden el tiempo de respuesta de las emergencias, debido a la movilidad de la ciudad de Bogotá en promedio se están demorando una hora en atender las estaciones, además de esta hora también es necesario contar la otra hora de regreso a la empresa, por esta razón para el análisis del costo de transporte se tomarán 2 horas de transporte por falla, en conclusión el costo del transporte por falla:

$$\frac{\text{Costo transporte}}{\text{falla}} = \left(\frac{\$ 3.800}{\text{Hora}} + \frac{\$ 5.000}{\text{Hora}} \right) * 2 \text{ Horas}$$

$$\frac{\text{Costo transporte}}{\text{falla}} = \$ 17.600/\text{hora}$$

11.4 COSTO INDISPONIBILIDAD

Para obtener el costo por indisponibilidad se tendrán en cuenta los costos hora indisponibilidad y costo de transporte, los valores evaluados fueron de dos periodos diferentes, antes y después de la implementación, estos comprenden el periodo del

1 de diciembre de 2.014 al 1 de marzo del 2.015 y el periodo del 1 de diciembre de 2.015 al 1 de marzo del 2.016.

Además este análisis se realizó en los equipos críticos de Bogotá, según el análisis de criticidad que se realizó en capítulos anteriores. AS continuación se presenta la fórmula de costo por indisponibilidad

$$CI = (Hora Indisponibilidad * CHI) + (N^{\circ} de fallas * CT)$$

Los valores de indisponibilidad y de número de fallas son los siguientes:

Cuadro 50. Indicadores antes y después

| Equipos | Indicadores antes | | Indicadores después | |
|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Indicadores | Horas indisponibles | Número de fallas | Horas indisponibles | Número de fallas |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 142,18 | 17 | 50,96 | 11 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 39,92 | 7 | 22,44 | 3 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 72,64 | 16 | 12,17 | 3 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 50,11 | 14 | 0 | 1 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 53,49 | 12 | 57,48 | 7 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 65,34 | 16 | 1,58 | 3 |

Se aplicó la fórmula de costo de indisponibilidad y se obtuvieron los siguientes valores, antes se hará un ejemplo:

El ejemplo se realiza con el primer equipo, el de la estación de Kennedy:

$$CI = \left(142,18h * \frac{\$48.611}{h} \right) + (17 fallas * \frac{\$17.600}{falla})$$

$$CI = \$ 7'210.711,98$$

Debido a que en Kennedy se encuentra un equipo Microbox por eso su valor de alquiler es \$48.611.

Cuadro 51. Costo de indisponibilidad

| Equipos | Indicadores antes | | Indicadores despues | | Costo de indisponibilidad | |
|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| Indicadores | Horas indisponibles | Número de fallas | Horas indisponibles | Número de fallas | Antes | Despues |
| BOG-KENN-COM-MXS-01 | 142,18 | 17 | 50,96 | 11 | \$ 7.210.711,98 | \$ 2.670.816,56 |
| BOG-QUIR-COM-MXS-01 | 39,92 | 7 | 22,44 | 3 | \$ 2.063.751,12 | \$ 1.143.630,84 |
| BOG-BRIC-COM-NXB-01 | 72,64 | 16 | 12,17 | 3 | \$ 2.602.012,16 | \$ 441.558,48 |
| BOG-BRIO-COM-NXB-01 | 50,11 | 14 | 0 | 1 | \$ 1.847.113,84 | \$ 17.600,00 |
| BOG-SIBA-COM-NXB-01 | 53,49 | 12 | 57,48 | 7 | \$ 1.919.884,56 | \$ 1.959.341,12 |
| BOG-CALE-COM-NXB-01 | 65,34 | 16 | 1,58 | 3 | \$ 2.368.820,96 | \$ 103.271,52 |
| | | | | Total | \$ 18.012.294,62 | \$ 6.336.218,52 |

En los 3 meses de evaluación se puede observar la disminución del costo por indisponibilidad después de la implementación, la disminución fue de \$ 11´676.076 en tres meses en las 6 EDS críticas de Bogotá. Lo anterior representa una disminución del 35% respecto a la del año anterior.

Comparando el ahorro obtenido con la implementación y la inversión inicial del proyecto, la recuperación de la inversión se obtendrá aproximadamente en 9 meses con solo los equipos críticos de Bogotá, con un mayor número de equipos involucrados en el análisis financiero el retorno será más rápido.

12. CONCLUSIONES

- ✓ La inversión inicial en dinero fue \$ 34'118.240, aunque los resultados se ven reflejados en el aumento de disponibilidad del 1,2% y aumento en el tiempo de vida de los equipos
- ✓ La disponibilidad de los equipos incremento del 97,8% al 99%, además mejoró la confiabilidad y disminuyó el número de fallas de 82 a 28 en un periodo de 3 meses
- ✓ Hacer el estudio de repuestos permitió que en la empresa se reconociera existencia de exceso de repuestos y se deja recomendación para ajustar cifras acorde al plan de mantenimiento
- ✓ La empresa recuperara la inversión inicial del proyecto de mantenimiento en un periodo aproximado de 9 meses, incluyendo únicamente los equipos críticos

13. RECOMENDACIONES

- ✓ Debido al tiempo de vida útil del compresor de la EDS de Kennedy y la cantidad de fallas presentas continuamente se recomienda dar de baja, además que el mantenimiento resulta más costoso que un equipo nuevo
- ✓ Ya que la empresa cuenta con equipos termográficos y de análisis de vibraciones, se recomienda capacitar al personal en estos equipos para no seguir contratando outsourcing
- ✓ Debido a los cantidad de maneras para describir las fallas por parte de los técnicos , se recomienda codificarlas para generar patrones en común, esto permitirá generar un mejor análisis de la información suministrada
- ✓ Se recomienda contratar un interventor que monitoree la continuación de la implementación del proyecto

BIBLIOGRAFIA

GRUPO GALILEO. Catálogo de parte compresor NX 45. Argentina. 15/06/2010

_____. Microbox, especificaciones de lubricación. [Diapositivas]. Argentina. 2005

_____. Microbox, Manual del Usuario. Argentina. 08/04/2002

_____. Plano regulador RP05. Argentina. 17/04/2007

_____. Presentación de Microbox. Natural Gas Technologies. [Diapositivas]. 2005

_____. Surtidores. Natural Gas Technologies.2013

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana NTC 1486. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización 2.008. 36 p.

_____. Guía Técnica Colombiana GTC-62. Seguridad de funcionamiento y calidad de servicio. Mantenimiento. Terminología. 36 p.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 2.008, p.1

_____. Referencias documentales informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1.998, p.2

LORINO, Philippe.El control de gestión estratégico. S.A marcondo Grupo Editor. Barcelona. 1993

MINISTERIO DE SALUD DE PERU. Análisis modal de sus fallas y sus efectos AMFE [en línea]. <<http://www.minsa.gob.pe/dgsp/observatorio/documentos/herramientas/AMFE.pdf>> [citado el 28 de enero de 2016]

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor. México. 2009

OSINERGIM. Organismo Superior De La Inversión En Energía y Minería. Seguridad en la comercialización de GNV y GNC. Agosto 2012 [en línea] <<http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/SeguridadcomercializacionGNVGNC.pdf>> [citado en 15 de septiembre de 2015]

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de activos. En: Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Vol. 5. Sevilla, 2012

SÁNCHEZ MARÍN, Francisco, et al. Mantenimiento mecánico de máquinas. 2 ed. Castellani sw la plana, publicaciones de la Universidad Jaume I, D. L. 2007

SURPETROIL SAS. Compras. 2015

_____. Estructura Organizacional De Mantenimiento Surpetroil. [Diapositivas]. 2015

_____. Organigrama General. [Diapositivas]. 2014

_____. Soluciones a sus necesidades en generación energética e industria del Oil & Gas. [Diapositivas] 2014

ANEXOS
VER CD ADJUNTO