

IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS ESTACIONES
DE SERVICIO DE GAS NATURAL VEHICULAR DE E.P.M.

ÁNGEL ALBERTO PALACIO GONZÁLEZ
SERGIO ALBERTO SEPÚLVEDA VÁSQUEZ



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
INGENIERÍA MECÁNICA Y AFINES
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2015

IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS ESTACIONES
DE SERVICIO DE GAS NATURAL VEHICULAR DE E.P.M.

ÁNGEL ALBERTO PALACIO GONZÁLEZ
SERGIO ALBERTO SEPÚLVEDA VÁSQUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Decano de Ingeniería
BAYRON ÁLVAREZ ARBOLEDA
Ing. Eléctrico Magíster en Sistemas Energéticos

Asesor

Karen Paola Cagua Madero
Ing. Química, Magíster en Ingeniería.

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
INGENIERÍA MECÁNICA Y AFINES
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, Octubre de 2015

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
3. OBJETIVOS	26
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	27
4.1. TIPOS DE ESTACIONES DE SERVICIO DE GAS NATURAL VEHICULAR	27
4.1.1. Estación de regulación y medición (EMR):	28
4.1.2. Compresores:.....	29
4.1.3. Tanque de recuperación:.....	31
4.1.4. Unidad de almacenamiento:	32
4.1.5. Isla de abastecimiento:.....	34
4.1.6. Surtidores de gas natural:	35
4.1.7. Tuberías de conducción de gas comprimido:	36
4.2. NORMATIVIDAD VIGENTE.....	37
4.2.1. NTC 4820.....	37
4.2.2. Resolución Ministerio de minas y energía 180928 de julio 26 de 2008.	38

4.2.3. NTC 3949.....	38
4.2.4. NTC 4827	39
4.2.5. Resolución 80528 del Ministerio de Minas y Energía	39
4.2.6. NTC 4823.....	39
4.2.7. NTC 5335.....	39
4.2.8. NTC 5773.....	40
4.2.9. NTC 1461.....	40
4.2.10. NTC 2050.....	40
4.3. MANTENIMIENTO	41
4.3.1. Evolución del mantenimiento.....	42
4.4. MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN (CMB)	46
4.4.1. Técnicas del mantenimiento por condición:	47
4.5. GENERALIDADES DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO	54
5. METODOLOGÍA.....	57
5.1. IMPLEMENTACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO	57
5.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	64
5.3. IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO	65
5.4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	66
5.4.1. Análisis de vibraciones:	66

5.4.2. Termografías:	68
5.4.3. Análisis de aceite:	69
5.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LOS COMPRESORES Y SURTIDORES.....	71
5.6. ANALIZAR POSIBLES SOLUCIONES PARA IMPLEMENTAR LOS PILARES ADECUADOS.....	72
5.7. VERIFICAR POR INDICADORES DE GESTIÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS	72
5.7.1. Índice de atención a órdenes de trabajo	73
5.7.2. Proporción de costo de mantenimiento preventivo	73
5.7.3. Proporción de costo de mantenimiento correctivo	73
5.7.4. Tiempo medio de reparación	74
5.8. EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS MANTENIMIENTOS POR CONDICIÓN.....	74
5.9. DEFINICIÓN DEL STOCK DE REPUESTOS	74
6. RESULTADOS	75
6.1. IMPLEMENTACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO	75
6.1.1. Implementación de formatos para monitoreo de equipos	77
6.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	92
6.2.1. Evaluación de resultados análisis de vibraciones	92

6.2.2. Evaluación de análisis de aceites	92
6.2.3. Evaluación Termográfica	93
6.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE COMPRESORES Y SURTIDORES	93
6.4. IMPLEMENTACIÓN DE PILARES DE MANTENIMIENTO	104
6.5. INDICADORES DE GESTIÓN.....	105
6.5.1. Disponibilidad:	105
6.5.2. Índice de atención a órdenes de trabajo	106
6.5.3. Proporción de costos de mantenimiento preventivo	106
6.5.4. Proporción de costos mantenimiento correctivo	106
6.5.5. Tiempo medio de reparación	107
6.6. EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS MANTENIMIENTOS POR CONDICIÓN.....	108
6.7. DEFINICIÓN DEL STOCK DE REPUESTOS	109
7. CONCLUSIONES	117
8. RECOMENDACIONES.....	118
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
10. ANEXOS.....	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generaciones de mantenimiento.....	43
Tabla 2. Rutinas de mantenimiento compresores EDS´s	76
Tabla 3. Formato Inspección Semanal Página 1	78
Tabla 4. Formato Inspección Semanal Página 2	79
Tabla 5. Formato de inspección mensual página 1	81
Tabla 6. Formato de inspección mensual página 2	82
Tabla 7. Formato legalización OT Correctiva	83
Tabla 8. Formato hoja de vida compresores	84
Tabla 9. Formato Servicio 400 horas página 1	86
Tabla 10. Formato Servicio 400 horas página 2	88
Tabla 11. Formato Servicio 2000 horas página 1	89
Tabla 12. Formato Servicio 2000 horas página 2	90
Tabla 13. Formato Servicio 2000 horas página 3	91
Tabla 14. Fallas Eléctricas en compresores y surtidores 2015.....	93
Tabla 15. Fallas por Fuga en compresores y surtidores 2015	94
Tabla 16. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS Belén	96

Tabla 17. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS el Bosque	97
Tabla 18. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS en Exposiciones	99
Tabla 19. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS Mayorca	101
Tabla 20. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS de UdeM	101
Tabla 21. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS de la 30.....	103
Tabla 22. Repuestos Compresor Kwangshin-EDS U de M	110
Tabla 23. Repuestos Compresor Ariel-EDS Belén	111
Tabla 24. Repuestos Compresor Ariel-EDS La 30	112
Tabla 25. Repuestos Compresor IMW-EDS Exposiciones	113
Tabla 26. Repuestos Compresor Ariel-EDS Bosque	114
Tabla 27. Repuestos Compresor Ariel-EDS Mayorca	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un expendio de GNV.....	27
Figura 2. Estación de regulación y medición típica de una EDS con compresor paquetizado.....	29
Figura 3. Compresor recíprocante tipo Tándem de 4 etapas marca Ariel	30
Figura 4. Compresor recíprocante cilindros en V Marca IMW de 3 etapas.....	31
Figura 5. Tanque de recuperación	32
Figura 6, Unidad de almacenamiento	33
Figura 7. Isla para abastecimiento de combustible gaseoso.....	34
Figura 8. Surtidor GNV	36
Figura 9. Tuberías de conducción de gas.....	37
Figura 10. Generaciones que agrupan mejores prácticas de mantenimiento.	45
Figura 11. espectro de aceleración de motor y cigüeñal del compresor Ariel de la EDS Mayorca (IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013).....	50
Figura 12. Termografía motor principal compresor EDS El Bosque	52
Figura 13. Formato informe resultados análisis de aceites	54
Figura 14. Comparación entre los distintos tipos de mantenimiento	56
Figura 15. Esquema de toma de datos análisis de vibración	68
Figura 16, Formato de informe termografico.....	69

Figura 17. Tendencias de los parámetros evaluados en análisis de aceite....	71
Figura 18. Indicador de Disponibilidad EDS´s.....	105
Figura 19. Costo promedio mantenimiento preventivo EDS´s.....	106
Figura 20. Tendencia Costos Mantenimiento Correctivo.....	107
Figura 21. Tiempo medio de reparaciones.....	108

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resolución 180928.....	121
Anexo 2. Norma Técnica Colombiana NTC 3949.	121
Anexo 3. Norma Técnica Colombiana NTC 4827	121
Anexo 4. Resolución 80582.....	121
Anexo 5. Norma Técnica Colombiana NTC 4823	121
Anexo 6. Norma Técnica Colombiana NTC 5335	121
Anexo 7. Norma Técnica Colombiana NTC 5773	121
Anexo 8. Norma Técnica Colombiana NTC 1461	122
Anexo 9. Norma Técnica Colombiana NTC 2050	122
Anexo 10. ASME B31.3 Process Piping Guide.....	122
Anexo 11. Análisis de aceite 19 diciembre de 2014.....	122
Anexo 12. Análisis de aceite 15 julio de 2015.....	122
Anexo 13. Análisis de aceite EUM - 260315.....	122
Anexo 14.. Análisis de aceite 13 abril de 2015	122
Anexo 15. Análisis Vibraciones -EEX-150319	122
Anexo 16. Análisis Vibraciones -EBO-140828.....	123
Anexo 17. Análisis Vibraciones EDS Bosque-8Jul13.....	123

Anexo 18. Análisis Vibraciones EDS Belén-12gos13	123
Anexo 19. Análisis Vibraciones -EMA-140208.....	123
Anexo 20. Análisis Vibraciones-E30-150224	123
Anexo 21. Inspección Termográfica AZIBosque-07Jul13	123
Anexo 22. Justo a tiempo (JIT) - Sistema de producción.....	123
Anexo 23. Recomendaciones Mantenimiento Compresor Ariel	123
Anexo 24. Recomendaciones Mantenimiento Compresor IMW	124
Anexo 25. Recomendaciones Mantenimiento compresor KWANGSHIN	124

GLOSARIO

EPM.: Empresas Públicas de Medellín

EDS: Estación de servicio de combustible

GNV: Gas natural vehicular

Consumidor: Usuario del servicio de GNV

Mantenibilidad: Capacidad de un elemento, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida.

Área Clasificada: Espacio físico que puede ser peligroso debido a la presencia o concentración habitual o esporádica de líquidos, gases, polvos o fibras inflamables y/o combustibles.

Batería de Almacenamiento: Conjunto de Cilindros de GNV, fijados en forma segura y con posibilidad de ser desmontados fácilmente, instalados sobre una estructura fabricada para tal efecto, no combustible y antideslizante.

Carril de Carga: Sector del piso del patio de maniobras de la EDS, ubicado a cada lado de la Isla de Surtidores sobre el cual los vehículos se aproximan para el suministro de combustible.

Certificación: Procedimiento mediante el cual una tercera parte da constancia, por escrito o por medio de un sello de conformidad de que un producto, proceso o servicio cumple con los requisitos especificados conforme a lo previsto en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología.

Certificado de Conformidad: Es un documento emitido de acuerdo con las reglas de un sistema de certificación, en el cual se puede confiar razonablemente que un producto, proceso o servicio debidamente identificado está conforme con un reglamento técnico, norma técnica u otra especificación técnica o documento normativo específico.

Cilindros de GNV: Recipientes con forma cilíndrica, diseñados, construidos y probados para almacenar GNV.

Comercializador de GNV: Persona natural o jurídica que suministra gas natural comprimido para uso vehicular; GNV, a través de estaciones de servicio.

Estación de Servicio Dedicada a Gas Natural Comprimido Vehicular: Es la estación de servicio destinada exclusivamente al suministro de gas natural, comprimido para uso vehicular.

Estación de Servicio Mixta: Es la estación de servicio destinada al suministro tanto de combustibles líquidos derivados del petróleo, excepto gas licuado de petróleo, como de gas natural comprimido para uso vehicular.

Estación de Servicio Privada de Gas Natural Vehicular: Es aquella perteneciente a una empresa o institución destinada exclusivamente a suministro de gas natural comprimido para uso vehicular de sus automotores. Se exceptúan de esta clasificación las estaciones de servicio de empresas de transporte colectivo, las que también están obligadas a prestar servicio al público, excepto cuando estén totalmente cercadas.

Evaluación de la Conformidad: Es el procedimiento utilizado directa o indirectamente para determinar que se cumplen los requisitos o prescripciones pertinentes de este reglamento técnico.

Gas Natural Comprimido para Uso Vehicular (GNV): Es una mezcla de hidrocarburos, principalmente metano, cuya presión se aumenta a través de un proceso de compresión y se almacena en recipientes cilíndricos de alta resistencia, para ser utilizado como combustible en vehículos automotores

Isla de Surtidor: Sector del piso del patio de maniobras de la EDS sobre el que no se admite la circulación vehicular. En ésta se ubica el surtidor o equipo de llenado y sus accesorios.

Organismo de Acreditación: En Colombia, la superintendencia de industria y comercio es la entidad gubernamental que acredita y supervisa los organismos de certificación, los laboratorios de pruebas y ensayos y de metrología que hagan parte del sistema nacional de normalización, certificación y metrología.

Organismo de Certificación Acreditado: De conformidad con lo previsto en el sistema nacional de normalización, certificación y metrología, es una entidad imparcial, pública o privada, nacional, extranjera o internacional, que posee la competencia y la confiabilidad necesarias para administrar un sistema de

certificación, sobre el cumplimiento de los requisitos técnicos, consultando los intereses generales y que ha sido reconocido por el organismo de acreditación.

Panel de Control: Sistema que comprende el conjunto de mandos electrónicos, eléctricos y manuales destinados a controlar la operación del equipo de compresión y batería de almacenamiento, el sistema de detección de fallas y todos los dispositivos relacionados con la seguridad de la EDS que suministra GNV.

Personal Calificado: Es el personal de la EDS que suministra GNV que cuenta con una certificación de competencias laborales expedida por una entidad acreditada para tal fin. Mientras no existan entidades acreditadas para ello, el personal deberá contar con una calificación de competencia laboral conforme al procedimiento interno que se establezca en la EDS.

Presión Máxima de Llenado: Es la máxima presión que puede alcanzar el Cilindro de GNV del vehículo, a cualquier temperatura, una vez finalizado el llenado del mismo

Recinto: Encerramiento que se usa exclusivamente para el equipo de compresión y/o la Batería de Almacenamiento que debe ser construido de material incombustible. No se consideran Recintos los encerramientos con malla eslabonada.

Sistema Único de Información Conjunta SUIC: Es el sistema de información establecido en la Resolución 7909 de 2001 expedida por el Ministerio de Transporte

Válvula Break Away: Dispositivo que se desprende y corta completamente el flujo de GNV cuando se aplica una tensión igual a aquella para la cual fue calibrada en sus extremos.

Válvula Cheque o de retención: Dispositivo que permite el flujo de gas natural en una sola dirección.

Válvula de corte manual 1/4 de Vuelta: Dispositivo que corta completamente el flujo de gas natural cuando se gira su palanca de accionamiento 1/4 de vuelta.

Válvula de Exceso de Flujo: Dispositivo que corta el flujo de gas natural, cuando éste supera el valor para el cual fue calibrado y que protege contra un flujo excesivo de gas natural, cuando se produce una ruptura de las tuberías o de las mangueras.

Válvula de Alivio: Dispositivo que permite el flujo de gas natural cuando la presión interna supera la presión a la cual fue calibrada.

Zona de Regulación y Medición: Es el área donde se encuentran localizados los equipos de filtración del gas natural, así como también los equipos de regulación y medición de presión a la entrada de la EDS que suministra GNV.

Zona de Compresión: Es el área donde se encuentran instalados los compresores, sus equipos y accesorios.

Zona de Almacenamiento: Es el área donde se encuentra instalada la batería de almacenamiento, sus equipos y accesorios.

Zona de Llenado: Es el área donde se encuentra la isla de surtidores, sus equipos y accesorios. La EDS puede tener una o varias zonas de llenado.

Alineación: Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo más precisos posible, en el momento de operación de la máquina.

Amperímetro: Instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico.

Amplitud: Máximo valor que presenta una onda sinusoidal.

Balanceo: Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación.

Chillers: Sistema de refrigeración de agua.

Compresor: Equipo que trabaja entregando energía a un fluido compresible. Ésta energía es adquirida por el fluido en forma de energía cinética y presión (energía de flujo). Se utiliza principalmente en aires acondicionados.

Diagnóstico: Proceso por medio del cual se juzga el estado de una máquina.

Excentricidad: Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

Extrusión: Es, en general, la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

Factor de Servicio: Factor que corrige los niveles normalizados, para máquinas especiales que requieren niveles en particular.

Fase: Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.

Fatiga: Tendencia de un material a romperse bajo deflexiones repetidas.

Frecuencia: Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.

Frecuencia de Engrane (GMF Gear Mesh Frequency): Es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para ambos engranajes.

Inyección: Es un procedimiento mediante el cual se hace pasar un fluido a través de un conducto para un determinado fin.

LEL: Límite inferior de explosividad

Masa Equilibrante: Masa utilizada en balanceo, para contrarrestar la masa des balanceadora.

Motor eléctrico: Es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

Onda en el tiempo: Es la representación instantánea de una señal dinámica con respecto al tiempo.

Período: Es el tiempo necesario para que ocurra una oscilación o se complete un ciclo. Generalmente está dada en minutos y segundos.

Pistón: Émbolo que se ajusta al interior de las paredes del cilindro mediante aros flexibles llamados anillos. Efectúa un movimiento alternativo, obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen o transformando en movimiento el cambio de presión y volumen del fluido.

Potencia mecánica: Es la potencia transmitida mediante la acción de fuerzas físicas de contacto o elementos mecánicos asociados como palancas, engranajes, etc.

Racor: Es una pieza metálica que sirve para unir tubos u otros perfiles cilíndricos.

Resonancia: Se presenta cuando la frecuencia natural de un componente es excitada por un agente externo. La amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que en algún momento pueden llegar a ser catastróficos.

Rodamiento: Elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

Rotor Flexible: Son rotores que giran muy cerca de su velocidad crítica, por lo cual presentan una deformación significativa.

Rotor Rígido: Rotor que no se deforma significativamente operando a su velocidad nominal.

Ruido: Es información de la señal que no representa alguna importancia. Representa contaminación de la señal.

Señal: Es toda información de magnitud física variable que se convierte a magnitud eléctrica mediante un transductor.

Sistema de enfriamiento: Consiste en una máquina refrigeradora y una serie de dispositivos para aprovechar el frío "producido" (en realidad, la absorción de calor).

Turbo mezclador: Máquina utilizada para mezclado de polvos con aditivos líquidos o sólidos, ideal para los requerimientos de la industria plástica.

Vibración: Es un movimiento oscilatorio.

Vibración Aleatoria: Frecuencias que no cumplen con patrones especiales que se repiten.

RESUMEN

EPM no contaba con un plan de mantenimiento estructurado para atender las necesidades de mantenimiento, y lo estipulado en la reglamentación para las EDS's propiedad de EPM.

Se realizó un plan de mantenimiento basado en MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN (CBM). Este plan de mantenimiento se desarrolló en las seis EDS propias de la empresa del sector de servicios públicos EPM. Para el desarrollo del plan de mantenimiento se tuvieron como criterios el tiempo y los recursos mínimos requeridos para el óptimo funcionamiento de las EDS y su disponibilidad.

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento Basado en Confiabilidad, Mantenimiento Predictivo, Disponibilidad de Equipos, Mantenimiento por Condición.

ABSTRACT

It did not have a plan maintenance structured to meet the maintenance requirements and the provisions of the regulation for EDS owned by EPM.

A maintenance plan based on the MAINTENANCE CONDITION (CBM) was conducted. This maintenance plan developed in six of the company's own utility EPM EDS industry. For the development of the maintenance plan how criteria were minimal time and resources required for the optimal functioning of the EDS and availability

KEYWORDS: Reliability Based Maintenance, Predictive Maintenance, Equipment Availability, Maintenance by Condition.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las empresas en épocas anteriores consideraban el mantenimiento preventivo como una actividad costosa, y se dedicaban a realizar mantenimientos correctivos de las averías que se iban presentando. Sin embargo, con las mejoras tecnológicas de equipos, asociado con sus altos costos, el mantenimiento preventivo se ha convertido en una necesidad para las empresas.

El mantenimiento preventivo es una herramienta indispensable para garantizar la operatividad de los equipos, se realiza de forma programada y planificada con el fin de evitar paros no programados en la producción y mantener la confianza de los clientes (Mecanizados Córdoba, s.f año 2015)

En el manejo del gas siempre está latente el riesgo de fallas catastróficas que pueden atentan contra la integridad física de las personas y del medio ambiente.

Por lo anteriormente expuesto, la legislación Colombiana por medio del Ministerio de Minas y Energía determinó mediante el "estudio de riesgos en la distribución de GNV a través de las Estaciones de Servicio de Gas Natural Comprimido Vehicular (EDSGNV)", la existencia de riesgos que ameritan ser controlados; y, que dentro de los mecanismos para efectuar este control, el reglamento técnico es una herramienta adecuada para minimizar los mismos. Fue necesario adoptar medidas tendientes a reducir riesgos en las estaciones de servicio que suministran gas natural comprimido, para uso vehicular con el fin de garantizar la prestación de un servicio público seguro, continuo y de calidad.

Las averías en los equipos de acondicionamiento y distribución de gas pueden tener consecuencias significativas en la rentabilidad de un negocio, ya que esta industria

en particular requiere altas inversiones económicas y se espera que para el retorno de la inversión, la disponibilidad de estos equipos sea lo más alta posible.

Para garantizar el buen funcionamiento de las EDS, el Ministerio de Minas y Energía expidió el reglamento técnico aplicable a las estaciones de servicio que suministran gas natural comprimido para uso vehicular. En lo concerniente al tema de mantenimiento, determinó en el numeral 4.1.6: “El propietario o arrendatario de la EDS que suministra GNV debe contar y mantener vigente un plan de mantenimiento de la EDS que incluya las disposiciones de este reglamento”.

Para cumplir con la reglamentación del Ministerio de Minas y Energía, se implementó un Plan de Mantenimiento para los compresores y surtidores de las seis (6) Estaciones de Servicio de Gas Natural Vehicular propiedad de EPM, con el objetivo de elevar el nivel de confiabilidad en los equipos y de esta manera garantizar mayor disponibilidad, evitando el desabastecimiento de gas para el usuario final.

Se planteó realizar monitoreo de los compresores y surtidores mediante técnicas de mantenimiento predictivo de forma aleatoria, Interpretar y analizar técnicamente los datos recolectados y determinar las frecuencias de mantenimiento para los compresores y surtidores con relación a su condición de funcionamiento y a los manuales de operación de estos equipos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

EPM es una de las empresas prestadoras del servicio de gas natural más importantes del país, sin embargo, no contaba con un plan de mantenimiento propio para los compresores y surtidores de las Estaciones de Gas Natural Vehicular de su propiedad, cómo lo estipula la resolución 180928 de 2006 del Ministerio de minas y energía en el numeral 4.1.6 “El propietario o arrendatario de la EDS que suministra GNV debe contar y mantener vigente un plan de mantenimiento de la EDS que incluya las disposiciones de este reglamento”

2. JUSTIFICACIÓN

Empresas Públicas de Medellín no contaba con un programa de mantenimiento propio que le permitiera evaluar las condiciones de los equipos de compresión y surtidores de gas natural vehicular. Al no existir este programa, los equipos estaban propensos a paros no programados y por lo tanto, se incrementaban los costos de mantenimiento, mano de obra y paros en el servicio prestado. Esta situación presentaba el riesgo latente de multas y cobro de pólizas de cumplimiento, ya que en la mayoría de las estaciones de su propiedad se tiene como clientes principales, empresas prestadoras de servicio público de transporte masivo de pasajeros, como el Metroplus y sus alimentadores.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un Plan de mantenimiento para los compresores y surtidores de las estaciones de gas natural vehicular propiedad de Empresas Públicas de Medellín, cumpliendo las normatividad estipulada en la resolución 180928 y las normas de seguridad industrial, y ambiental que rigen en la empresa.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar rutinas para mantenimientos.
- Evaluar los resultados del mantenimiento predictivo.
- Identificar los problemas de los compresores y surtidores.
- Analizar posibles soluciones para implementar los pilares adecuados.
- Verificar por indicadores de gestión los resultados obtenidos.
- Según las condiciones en que se encuentran los equipos, evaluar si se pueden ampliar los mantenimientos por condición.
- Definir el Stock de repuestos necesarios para los mantenimientos por condición

4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

4.1. TIPOS DE ESTACIONES DE SERVICIO DE GAS NATURAL VEHICULAR

Existen dos tipos de estaciones de servicio, las cuales se definen a continuación,

A) EDS Para consumo propio: Son aquellos que surtirán combustible GNV a vehículos autorizados por la entidad propietaria o administradora del expendio. Estos expendios estarán ubicados en áreas de acceso restringido.

B) Expendios para uso público: Son aquellos en los cuales se permitirá el acceso de cualquier tipo de vehículos para ser abastecidos de GNV. Este tipo de expendio deberá ser operado por personal dependiente del concesionario del mismo (Soltecca, 2009).

En la Figura 1, se muestra un esquema de un expendio de GNV, donde se visualizan los principales componentes de una EDS para GNV que son: Estación de Regulación y Medición ERM, Tanque de recuperación, compresor, batería de almacenamiento y surtidor.

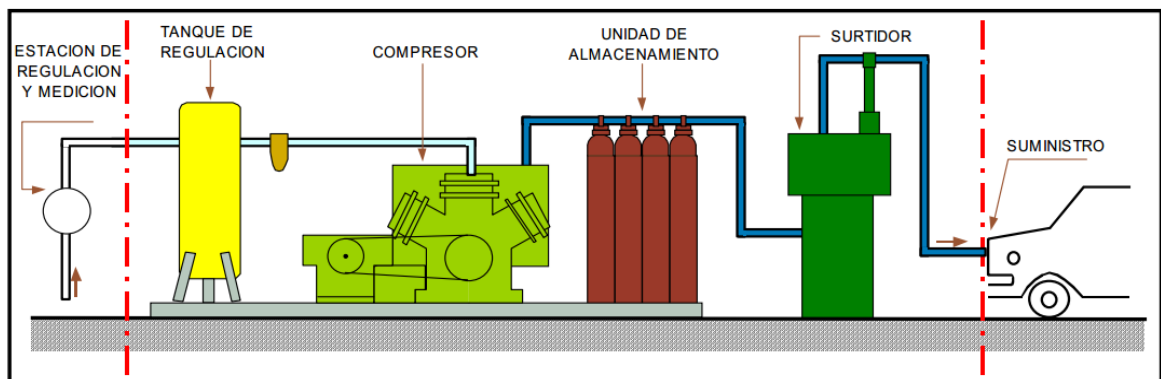


Figura 1. Esquema de un expendio de GNV

Fuente: (Siame, 2000)

4.1.1. Estación de regulación y medición (EMR):

La alimentación de la red de distribución de gas natural al sistema de GNV, se hace a través de una estación de regulación y medición. Normalmente ésta se localiza en un recinto separado del sistema de compresión.

La función de la estación es evitar que la conexión afecte la red de distribución generando fenómenos de contra presión o vacío. La construcción se efectúa dando cumplimiento a la Norma NTC 3949. Los elementos de la estación varían de acuerdo con la continuidad del servicio (Siame, 2000).

Los componentes principales de la ERM son:

- Tubería de conducción de gas
- Manómetros indicadores de presión
- Filtro separador de partículas.
- Regulador de presión de gas de acción mecánica
- Medidor de flujo de gas
- Tele corrector de volumen de gas
- Válvula anti retorno para gas
- Válvulas de corte manual
- Válvulas de corte actuadas
- Transmisor de presión
- Transmisor de temperatura

En la Figura 2, se muestra una foto de una estación de regulación y medición por la cual pasa el gas a comprimir.



Figura 2. Estación de regulación y medición típica de una EDS con compresor paquetizado
(Tomada en la EDS de Mayorca, 2014)

4.1.2. Compresores:

En la actualidad EPM cuenta en sus diferentes estaciones con compresores reciprocantes de las marcas Ariel, IMW, Galileo y Kwangshin. Hay equipos instalados de tres y cuatro etapas, según la presión disponible del gas.

Estos compresores son accionados por motores eléctricos o a gas que se controlan automáticamente por medio de un interruptor de presión que controla las paradas y arrancadas de acuerdo con la demanda.

Los compresores están comandados por un tablero de control, diseñado bajo un esquema eléctrico y de control automático, de tal manera que los interruptores de arranque y parada envían la señal para iniciar o terminar los ciclos. Adicionalmente,

están conectados al sistema de seguridad para paradas de emergencia de acuerdo a la NTC 4827 (Siame, 2000).

La Figura 4, se ilustra un compresor recíprocante tipo tándem marca Ariel de 4 etapas, en el cual se observan los siguientes componentes:

- Separadores inter etapas
- Filtros coalescentes
- Actuadores
- Manómetros
- Transmisores de temperatura PT-1000
- Válvulas de seguridad



Figura 3. Compresor recíprocante tipo Tándem de 4 etapas marca Ariel
(Tomada en la EDS de Belén, 2013) EDS Belén

La Figura 4, muestra un compresor IMW en proceso de mantenimiento. Se pueden observar el bloque y los tres cilindros que componen sus etapas



Figura 4. Compresor recíprocante cilindros en V Marca IMW de 3 etapas
(Tomada en la EDS de Exposiciones, 2013)
EDS Exposiciones

4.1.3. Tanque de recuperación:

El tanque de recuperación tiene como función general, minimizar los cambios de presión del gas en la línea de entrada, durante la aspiración del compresor y recuperar el gas de los cilindros y compresores cuando se detiene la máquina. De esta forma, el gas residual que queda en la tubería de los compresores, no fluye a la atmósfera.

El gas llega al tanque de recuperación proveniente de la ERM. El tanque tiene un volumen suficiente para almacenar el gas descargado de los cilindros y de los separadores durante la compresión, al producirse la detención de las máquinas. Se diseñan para una presión máxima de trabajo de acuerdo con las especificaciones del compresor, está provisto de válvula de seguridad, manómetro y válvula de drenaje.

La Figura 5, muestra el tanque recuperador de gas para el compresor de una EDS. Se observan el cuerpo del tanque, las conexiones de alimentación y descarga de gas y la válvula de seguridad.

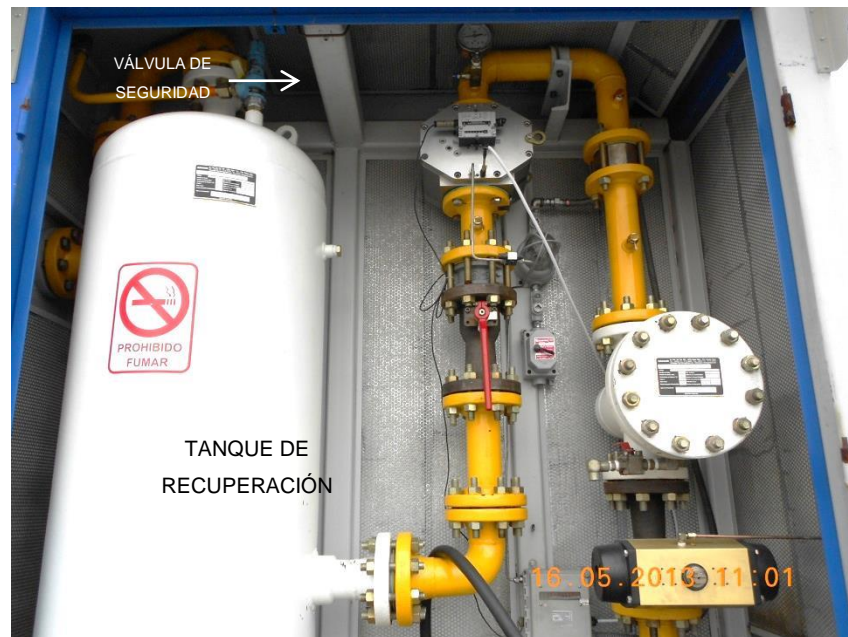


Figura 5. Tanque de recuperación
(Tomada en la EDS de la 30, 2013) EDS la 30

4.1.4. Unidad de almacenamiento:

La unidad de almacenamiento está conformada por baterías de cilindros o tanques. Los tanques de almacenamiento son los encargados de recibir el gas que entra a una presión de 250 bares (3675 psi), de acuerdo con la NTC 4820. El gas es conducido por tubería de acero para alta presión. La unidad de almacenamiento tiene a cargo el suministro del gas a los surtidores en las islas por medio de tuberías que están conectadas a las baterías.

Las baterías de almacenamiento están compuesta por cilindros de acero, montados sobre un bastidor de acero, con sus válvulas individuales, válvula esférica manual

de bloqueo general de salida, válvulas de exceso de flujo, válvula de seguridad por sobre presión y tuberías de interconexión en acero inoxidable, según se describe en la NTC 4820 (Siame, 2000).

En la Figura 6, se muestra la unidad de almacenamiento de gas comprimido. Se observan los siguientes componentes:

- Canastilla contenedora de cilindros
- Cilindros de almacenamiento
- Manifold de descarga de gas hacia los surtidores
- Válvulas de corte manual
- Válvulas de exceso de flujo de gas
- Filtros coalescentes



Figura 6, Unidad de almacenamiento
(Tomada en la EDS de la 30, 2013) EDS La 30

4.1.5. Isla de abastecimiento:

Las islas son plataformas elevadas del nivel de piso y adecuadamente protegidas de tal manera que no se permita sobre estas la circulación de vehículos. Sobre las islas se instalan los surtidores de GNV. Las islas se ubican longitudinalmente o paralelas a los carriles de carga de los vehículos según lo requiera el análisis de tráfico vehicular. Se construyen de acuerdo a la norma técnicas colombianas NTC 4820 y/o Resolución 80528 del Ministerio de Minas y Energía (Siame, 2000).

La Figura 7, muestra una isla de abastecimiento de GNV. Se pueden observar los siguientes componentes:

- Carriles de carga de los vehículos
- Vehículo en proceso de abastecimiento de gas
- Surtidores de gas



Figura 7. Isla para abastecimiento de combustible gaseoso
(Tomada en la EDS Universidad de Medellín, 2014) EDS UdeM

4.1.6. Surtidores de gas natural:

Los surtidores son los encargados de suministrar el gas regulado a los vehículos a GNV, con una presión máxima de suministro de 200 bares (3000 psi). De acuerdo a la Resolución 80528 del Ministerio de Minas y Energía, NTC 4823, NTC 5335, o las normas que la sustituyan, deroguen o modifiquen, a presión de llenado de los vehículos está limitada por una válvula reguladora de presión de llenado calibrada a 200 bares (3000 psi). El llenado es medido por un medidor de flujo másico (Siame, 2000).

La Figura 8, muestra un surtidor de gas natural vehicular. En esta imagen se pueden observar los siguientes componentes:

- Cuerpo principal del surtidor
- Manguera de suministro de gas natural
- Pico de llenado
- Válvula break away
- Panel de control
- Pantalla indicadora de información
- Indicador de presión de GNV



Figura 8. Surtidor GNV
(Siame, 2000)

4.1.7. Tuberías de conducción de gas comprimido:

Las tuberías se instalan según las Normas Técnicas Colombianas NTC 4820, NTC 4827 y NTC 5773. De conformidad con las normas para la instalación de tuberías de alta presión se efectúa una prueba hidrostática de todas las instalaciones de gas a 1.5 veces la presión máxima de trabajo, efectuando el posterior barrido, limpieza, secado e inertización de todo el sistema.

La Figura 9, nos muestra algunas tuberías de conducción de gas comprimido desde el compresor hacia el surtidor.



Figura 9. Tuberías de conducción de gas
(Tomada en la EDS de la 30, 2014) EDS La 30

4.2. NORMATIVIDAD VIGENTE

Las siguientes son las normas que rigen la operación y distribución de GNV en Colombia:

4.2.1. NTC 4820

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos mínimos de construcción, instalación, seguridad, operación y mantenimiento que deben cumplir las estaciones de compresión, almacenamiento y despacho de gas natural comprimido para vehículos (GNV), tanto en sistemas de llenado rápido como en sistemas de llenado lento.

Esta norma se aplica a sistemas de compresión, almacenamiento y despacho que tienen como presión máxima de servicio 25 MPa (3626 psi). También aplica a estaciones de llenado con gas natural comprimido, que estén conectadas o no a la red de suministro de gas natural y que se ubiquen en lugares que tengan las siguientes características:

- Predios sin ninguna otra instalación o construcción.

- Predios con instalaciones para almacenamiento y despacho de hidrocarburos líquidos.
- Predios particulares con estaciones privadas de llenado.

La norma no se aplica a estaciones de abastecimiento de Gas Licuado del Petróleo (GLP) o Gas Natural Licuado (GNL) como combustible automotor.

4.2.2. Resolución Ministerio de minas y energía 180928 de julio 26 de 2008.

Este reglamento tiene por objeto prevenir riesgos que puedan afectar la seguridad, la vida, la salud y el medio ambiente en las estaciones de servicio que suministran gas natural comprimido para uso vehicular.

Las disposiciones de este reglamento técnico son de obligatorio cumplimiento para las estaciones de servicio dedicadas y mixtas, sean estas privadas o públicas, a través de las cuales se suministra gas natural comprimido para uso vehicular.

Resolución 180928 de 2006 del Ministerio de minas y energía.

4.2.3. NTC 3949

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir las estaciones de regulación de presión abastecidas de líneas de transporte y líneas primarias de redes de distribución de gas combustible (en estado gaseoso) en cuanto al diseño, construcción, ensayo, operación y mantenimiento se refiere.

Esta norma se aplica específicamente a estaciones de regulación de presión, las cuales eventualmente pueden estar dotadas de sistemas de medición, calentamiento de gas, filtración y odorización. Estos sistemas se pueden presentar simultánea o individualmente. En algunos casos esta norma establece requisitos para este tipo de sistemas y en otros, se referencian otras normas

Las especificaciones de esta norma se aplican únicamente a las estaciones de regulación de presión abastecidas de líneas de alta presión de acuerdo con lo estipulado en la NTC 3838.

4.2.4. NTC 4827

Esta norma se aplica a los compresores para gas natural que han sido diseñados para estar disponibles como equipo de trabajo continuo a plena carga, que son movidos mecánica, eléctrica o hidráulicamente y que están previstos para ser utilizados en las operaciones de reabastecimiento de los cilindros de los vehículos a GNV, forman parte del compresor sus sistemas de control y su equipo esencial de seguridad. Estos compresores usualmente, son compresores reciprocantes de múltiples etapas).

4.2.5. Resolución 80528 del Ministerio de Minas y Energía

Por la cual se reglamenta el almacenamiento, manejo y distribución del gas natural comprimido (GNC) para uso en vehículos automotores, la conversión de los mismos y se delegan funciones.

4.2.6. NTC 4823

Esta norma es aplicable a:

- a) Las características mecánicas y eléctricas de los sistemas nuevos para llenado de gas natural comprimido vehicular, donde tales sistemas han sido previstos originalmente para el suministro de combustible directamente a los cilindros del vehículo
- b) Surtidores para gas natural vehicular, dispuestos en compartimientos simples.
- c) Surtidores para gas natural comprimido vehicular, dispuestos en compartimientos múltiples para alojamiento de dispositivos de medición, registro, control electrónico remoto, protección electrónica remoto contra sobrellenado, mangueras y boquillas.

4.2.7. NTC 5335

Esta norma establece el procedimiento de calibración de surtidores de gas natural comprimido para uso vehicular (GNV).

Esta norma es aplicable a todos los surtidores de gas natural comprimido que utilicen medidores de flujo másico para la venta de gas natural vehicular y contempla dos métodos para la calibración de los surtidores: el método gravimétrico y el método con patrón en serie.

4.2.8. NTC 5773

El transporte de Gas Natural Comprimido (GNC) en módulos o baterías de cilindros o tubos es utilizado en aquellos sitios en los cuáles técnica o económicamente no resulta viable la construcción de nuevas líneas de transporte o el incremento de la capacidad de las líneas existentes.

Un módulo de cilindros es un conjunto transportable diseñado para que se pueda levantar de forma rutinaria y consiste en un bastidor y dos o más cilindros conectados a un colector por medio de las válvulas de los cilindros o por accesorios tales que permiten llenar, transportar y vaciar los cilindros sin necesidad de desmontarlos individualmente. Las baterías de cilindros o tubos son sistemas que están fijos al medio de transporte.

Salvo que se establezca otra cosa, cada uno de los cilindros de un módulo o los cilindros o tubos de la batería debe ser conforme con las normas aplicables a los cilindros o tubos individuales. Esta norma especifica los requisitos adicionales que se aplican cuando los cilindros individuales o tubos se montan en un módulo o una batería.

4.2.9. NTC 1461

Esta norma tiene por objeto establecer los colores y señales de seguridad utilizados para la prevención de accidentes y riesgos contra la salud y situaciones de emergencia.

4.2.10. NTC 2050

La Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) basada en el National Electrical Code (NEC) cuyo objeto es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los

riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. Con el (NEC) surgió una serie de problemas por la manera en que se interpretaban los diferentes artículos; para eso se creó el Handbook cuyo objetivo era explicar de una manera fácil y didáctica los diferentes artículos de la norma, ya que la NTC 2050 está basada en el NEC, surgió el mismo problema, por lo tanto se desea explicar clara y objetivamente las secciones 300- 324 del capítulo 3 de la NTC 2050 (Métodos de Alambrado).

4.3. MANTENIMIENTO

Hoy en día se define al mantenimiento según la propuesta de Sotuyo Blanco (2010), como la función empresarial que permite asegurar, que todo activo físico continúe desempeñando las funciones para las cuales fue creado de manera confiable y eficiente. Por medio de sus actividades de control, reparación y revisión.

El mantenimiento ha sido desde el inicio en la industria, parte fundamental de su desarrollo y poco a poco ha venido evolucionando cambiando paradigmas existentes desde sus inicios, gracias a su apoyo en herramientas, creadas para y por otros departamentos de las empresas (calidad, estadísticas, desarrollo de capital humano, financieros, etc.), que le han permitido llegar a ser parte fundamental del engranaje de mejora continua y a ser visto hoy en día, no solo como un grupo de “gastos y pérdidas” si no como un grupo que trabaja en pro de mejorar la gestión de sus activos, que según la norma de Gestión de Activos PAS 55, significa: “Todas aquellas actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización administra de manera óptima sus activos y el comportamiento de estos, riesgo y gastos durante su ciclo de vida útil con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional (Ruiz Acevedo, 2012).

4.3.1. Evolución del mantenimiento

Como lo comenta González Bohórquez (como se citó en Ruiz Acevedo, 2012) se puede decir que el mantenimiento inició con el mismo nacimiento de la industria, cuando se crearon los procesos de producción mecanizados para la fabricación de bienes a gran escala, lo que obligó a que esta dependiera de un adecuado funcionamiento de estas máquinas. Sin embargo, el mantenimiento era considerado una actividad sin importancia y un costo en el que se debía incurrir

Dando un vistazo rápido a lo que ha sido la evolución del mantenimiento, se facilita hablar de las Generaciones que han marcado el desarrollo y mejora desde sus inicios, sin embargo la mayoría de los autores no se ponen de acuerdo en los años en los que empieza y termina cada una.

En la

Tabla 1, Se Observa la evolución del mantenimiento con el transcurrir del tiempo.

Tabla 1. Generaciones de mantenimiento

Aspectos de mantenimiento	Comportamiento 1era generación (I Guerra Mundial - 1950)	Comportamiento 2da generación (1950 - 1970)	Comportamiento 3era generación (1970 - 2000)	Comportamiento 4ta generación (2000 - presente)
Expectativas del mantenimiento	Repare equipos cuando estén rotos	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad - mayor duración de los Equipos - Bajos costos de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad. - Incremento en la seguridad - Sin daño al ambiente - Mejor calidad de producto - Mayor duración de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad - Incremento en la seguridad - Sin daño al ambiente - Mejor calidad de producto - Mayor duración de los equipos - Mayor Costo – Efectividad - Manejo del Riesgo (legislación, procedimientos, entrenamientos, equipos para minimizar el riesgo, etc)
Visión sobre la falla del equipo	Todos los equipos se desgastan	Todos los equipos cumplen con la "curva de la bañera"	Existen 6 patrones de falla	Fallas desde el punto de vista del error humano, error del sistema, error de diseño y error de selección (Confiabilidad Operacional)
Técnicas de mantenimiento	Todas las habilidades de reparación	<ul style="list-style-type: none"> - mantenimientos mayores planeados y programados - Sistemas de planificación y control de los trabajos (PERT, Gantt, etc.) - Computadores grandes y lentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento predictivo - Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad - Estudio de riesgos - Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) - Pequeños y rápidos computadores - Sistemas expertos - Trabajo en equipo y apoderamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo por condición - Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad - Estudio de riesgos - Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) - Pequeños y rápidos computadores - Trabajo en equipo y apoderamiento - Uso de técnicas especializadas (RCA, RCM, TPM, PMO, Modelamiento de confiabilidad, optimización de repuestos etc.) - ERP – módulos de mantenimiento - "Outsourcing" - Internet

Fuente: González Bohórquez (como se citó en Ruiz Acevedo, 2012)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la evolución el mantenimiento. Cómo se puede observar el mantenimiento predictivo inició en la tercera generación. Después de atravesar la guerra y posterior recuperación de la misma, el mundo entra en un período de resurgimiento de la industria. Sin embargo, en 1973 otro revés golpea el sector: la crisis energética debido a la decisión de los países árabes de no exportar crudo a EEUU y Europa Occidental (Ruiz Acevedo, 2012).



Figura 10. Generaciones que agrupan mejores prácticas de mantenimiento

Fuente: (Ruiz Acevedo, 2012)

Esto obligó a los expertos a considerar nuevas formas de producir y mantener sus equipos, para optimizar al máximo sus recursos y aumentar el tiempo de funcionamiento. Una vez superado el impase, se hace visible la necesidad de estandarizar todas estas iniciativas para obtener beneficios integrales en la industria, no solo en EEUU sino en Europa occidental, dando paso a la creación de las normas internacionales que nos rigen hasta hoy.

En esta etapa se vislumbra el rol del operador más que como un simple "aprieta botones". El personal de producción empieza a ser visto como pieza importante en el funcionamiento diario de los equipos, pasa a ser el responsable del equipo, velando porque esté en perfectas condiciones al momento de empezar su labor y por operarlo de manera segura. Todo esto se conoce hoy día como el cuidado básico de equipos que hace el operador. Ya no se habla solo de la disponibilidad de los equipos, un nuevo concepto se abre paso: Confiabilidad; y como asegurar la menor cantidad de fallas en

los mismos. Se plantean análisis estadísticos más especializados hacia mantenimiento.

Los estudios especializados se abren paso generando cambios profundos en la gestión de mantenimiento. Quizá uno de los aportes más reconocidos en la década de los 70's, es el de Nowlan y Heap del cual se derivan las nuevas acciones de mantenimiento, para "adelantarse a tratar" las diferentes formas en las que puede afectarse un equipo. Es el caso de la definición de varios patrones de falla y no uno, como rigió en la generación anterior. Es el caso de la definición de varios patrones de falla y no uno, como rigió en la generación anterior (curva de la bañera).

Tareas sencillas de limpieza, cuidado básico e inspecciones diarias de los activos han llevado a mejoras continuas, que junto al manejo de técnicas predictivas para monitorear la condición del equipo, completan estrategias de mantenimiento exitosas, basadas en la detección temprana de fallas.

Es así como se muestra que el mantenimiento predictivo por sí solo no es la respuesta a la necesidad de reducción de fallas en los activos, se debe trabajar de la mano con las personas que conviven con ellos todo el tiempo, quienes los conocen y saben cómo se comportan, pero en muchas ocasiones no saben cómo operarlos de forma óptima.

En la medida en que el mantenimiento basado en la condición del activo, se abra paso y sea exitoso, se abrirán las puertas a la verdadera gestión de activos en la compañía, asegurando un manejo integral de la organización, la operación y los activos (Ruiz Acevedo, 2012).

4.4. MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN (CMB)

Monitoreo, es la medición de una variable física que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indican si el equipo está en buen estado o deteriorado. Los objetivos del monitoreo por condición es indicar cuándo existe un problema, para

diagnosticar entre condiciones buena y mala; y si es mala indicar cuán mala es. Evitando fallos catastróficos, diagnosticar fallos con problemas específicos, pronosticar la vida útil y cuánto tiempo más podría funcionar el equipo sin riesgo de fallo. Esta técnica permite el análisis paramétrico de funcionamiento cuya evaluación permite detectar un fallo antes de que tenga consecuencias más graves. (Amendola, 2011).

En general, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia importante, para así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves. (Amendola, 2011).

Una de las características más importantes es que no debe alterar el funcionamiento normal de los procesos, la inspección de los parámetros se pueden realizar de forma periódica o de forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, tipos de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiere realizar (Amendola, 2011).

4.4.1. Técnicas del mantenimiento por condición:

La función de mantenimiento presenta cambios importantes dentro de su Estrategia, ya no se habla solamente de tareas preventivas o correctivas; ahora entra a jugar una nueva forma de trabajar, el mantenimiento basado en condición y de manera predictiva. En consecuencia, se crean nuevas tecnologías que ayudan a detectar dichos problemas, sin necesidad de parar los equipos (PE: termografía, análisis de vibraciones, análisis de aceites, etc.) en otros casos se hace monitoreo de las condiciones operacionales del equipo (presión, temperatura, ruido, etc.) para saber si está funcionando correctamente. Convirtiéndose prácticamente en la única forma de minimizar

las fallas aleatorias en el período constante de la curva, complementando las estrategias con las cuales se venía trabajando hasta entonces.

En la actualidad la gestión de mantenimiento continúa en su ciclo de evolución. Es el caso del manejo integral del activo. La gestión de mantenimiento, actualmente se basa en el análisis de datos; tener información veraz de los equipos pasa a ser lo más importante y sobre lo cual se basan las decisiones de gestión sobre los mismos. Se empieza a ver el equipo como un activo de la compañía y no como una “máquina que genera gastos”, en la cual se puede invertir para beneficio de todos (Amendola, 2011).

4.4.1.1 Análisis de vibración

Según la norma ISO 204(2009). La vibración se define como toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio

Esta medición se hace a través de las diferentes ondas que se producen cuando hay movimiento (equipo en funcionamiento). Hay tres formas de medir la “amplitud” de estas ondas, lo cual muestra realmente la severidad de la vibración. Estas tres medidas son:

- Desplazamiento: distancia total de la onda vibratoria entre sus crestas pico a pico.
- Velocidad: al moverse, las ondas experimentan cambios de velocidad, el mayor valor se mide en la cresta de la onda pico. Sin embargo la ISO creó un concepto para medir la velocidad, llamado raíz media cuadrada (r.m.s). La principal ventaja es que este tiende a proporcionar el contenido de energía de la señal de vibración.
- Aceleración: como la variación de la velocidad durante el movimiento, es máxima cuando la anterior es cero (0) y se expresa en $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ (Girdhar, 2004).

Según lo expuesto por Ruiz Acevedo (2012). La proximidad de la medición de cada uno de estos valores con la condición real del equipo, dependerá de la frecuencia de su movimiento. Por debajo de 10 Hz, no se perciben casi vibraciones en términos de velocidad o aceleración, pero sí de desplazamiento. Por encima de 1000 Hz, se apreciará mejor la medición, bajo aceleración; y en el rango entre 10 Hz a 1000 Hz, la medición de vibración por velocidad es ampliamente aceptada. Como la mayoría de los equipos funcionan en este rango, es común encontrar que el análisis de vibraciones, se haga bajo el parámetro Velocidad.

Todas las máquinas rotativas producen vibraciones (son parte de la dinámica del equipo), debido a la alineación y balance de las partes giratorias. La medición de la amplitud de vibraciones a ciertas frecuencias, pueden proporcionar información valiosa sobre la exactitud de alineación del eje, el estado de los rodamientos o engranajes, y el efecto sobre el equipo debido a la resonancias de las carcasas, las tuberías y otras estructuras.

El análisis de vibraciones es un método no intrusivo para monitorear la condición del activo durante el arranque, tiempos fuera de servicio y en la operación diaria. Es usado principalmente en equipos rotativos como turbinas de vapor y de gas, bombas, motores, compresores, máquinas de papel, trenes de laminación, máquinas herramientas y cajas de cambios.

Un sistema de análisis de vibraciones está compuesto por:

- Un recolector de señales (transductor)
- Un analizador de señales
- Un software para el análisis
- Un computador para ejecutar el análisis y almacenar la información

Para obtener mediciones óptimas y lo más uniforme posible, es necesario estandarizar los puntos de medición. En general, las medidas deben ser tomadas

siempre, en estos puntos siguiendo la dirección de los tres ejes del plano cartesiano, en relación con la máquina principal.

La Figura 11, muestra los espectros de aceleración de motor y cigüeñal del compresor Ariel de la EDS Mayorca, arrojados por el análisis de vibraciones realizado el 8 de febrero de 2014.

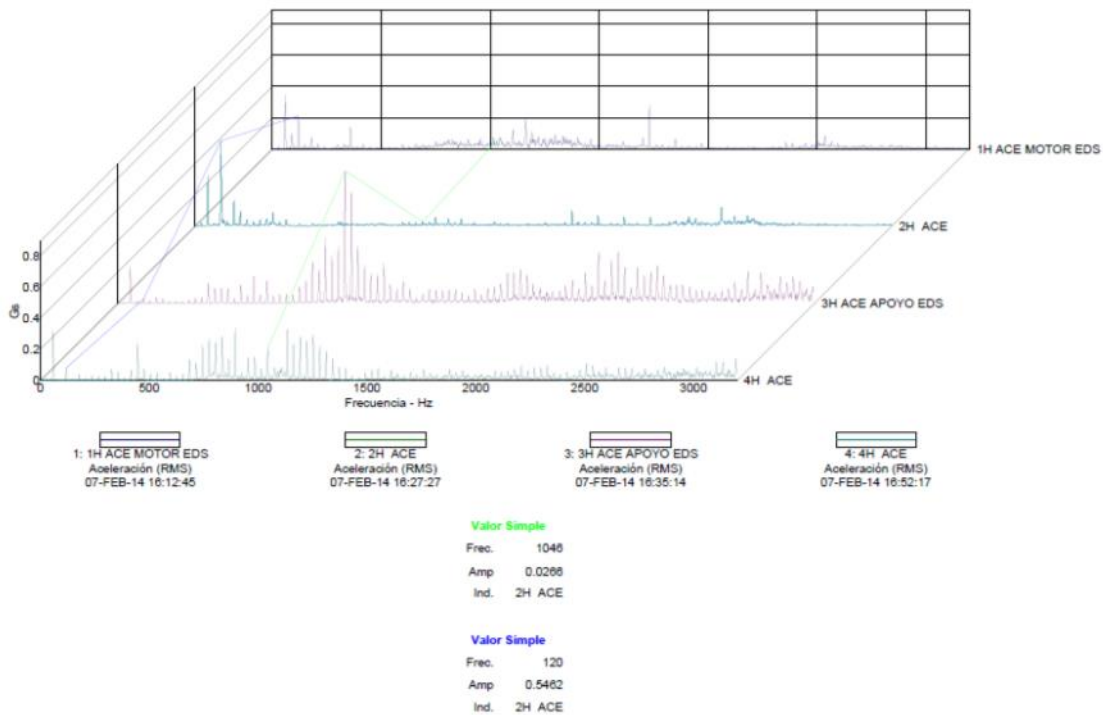


Figura 11. espectro de aceleración de motor y cigüeñal del compresor Ariel de la EDS Mayorca (IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013).

4.4.1.2 Termografía infrarroja

Es una técnica que mide la energía infrarroja irradiada de la superficie del equipo en cuestión y la convierte en una medida equivalente (imagen visible llamada termograma) a la temperatura de su superficie, usando cámaras de forma remota y sin contacto con el mismo (ISO 13372, 2004).

Los instrumentos electrónicos utilizados en la termografía infrarroja utilizan un sistema de lentes para enfocar la energía irradiada (invisible) desde la superficie del objeto, en el detector de infrarrojos. Los diferentes niveles de energía se miden por el detector y luego se transforman en una imagen visible representada por un color diferente o un nivel de escala de grises, con cada nivel de energía. La imagen se puede almacenar en soporte digital o en video, para su revisión, análisis e informes en una etapa posterior. Todos los sistemas de infrarrojos (simple a lo complejo) son sensibles a la radiación infrarroja solamente, no miden la temperatura. Son útiles en la aplicación en las que una variación en la temperatura, la reflexión estado de la superficie o material puede causar una diferencia en el nivel de energía radiada que puede ser detectada por la cámara infrarroja (Girdhar, 2004)

La termografía sirve, principalmente para encontrar los componentes eléctricos que estén más calientes de lo normal, lo que generalmente indica un desgaste o aflojamiento. Por lo tanto, esta técnica permite realizar el mantenimiento a los componentes eléctricos que requieren atención sin necesidad de intervenir el resto de los componentes.

En la Figura 12, se puede observar un claro ejemplo de un análisis termográfico realizado al motor principal del compresor de la EDS El Bosque, en el cual se evidencian algunos puntos calientes y se registran los valores.

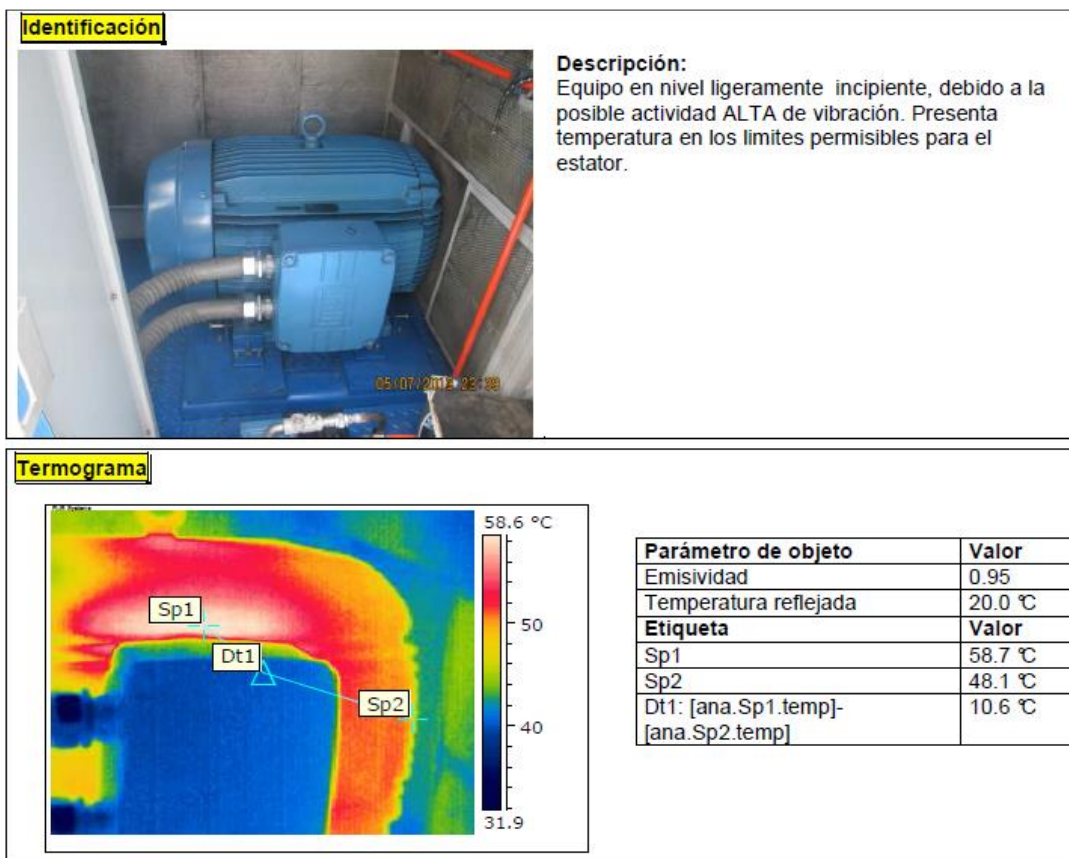


Figura 12. Termografía motor principal compresor EDS El Bosque
 Fuente: (IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013)

4.4.1.3 Análisis de aceite

Este tipo de análisis se realiza en un laboratorio especializado, a muestras de aceite tomadas de los equipos en operación, es decir, el lubricante analizado está siendo usado.

Tiene por objeto evaluar la condición del aceite, monitorear su grado de contaminación y el nivel o gravedad de desgaste que se está presentando en el equipo rotativo.

Esto se hace por medio de lo propuesto por Albarracín Aguillón (2009).

- Análisis de características físico-químicas con el fin de detectar la situación de las propiedades del aceite y definir si está oxidado, para tomar la decisión de cambio o dejarlo en servicio.

- Revisión sencilla del olor o color del lubricante
- Viscosidad: indica el flujo del aceite a una temperatura específica. Su variación en el tiempo, muestra contaminación o cambios en la condición del mismo.
- TAN: número total de ácido, muestra la variación de la condición del lubricante.
- TAB: número total de bases, similar al anterior, mide el grado de alcalinidad del lubricante.
- Análisis de contaminantes tales como:
- Contenido de agua: contribuye a la corrosión y formación de ácidos. Se realiza a través de diferentes análisis, logrando detectar desde el 0.001% de agua en el lubricante. Por encima del 0.1% aparecerá suspendida y la muestra se verá turbia. (Nasa, 2008)
- Dilución por gases o combustibles: se considera excesiva, cuando alcanza niveles del 2.5 al 5%
- Contenido de partículas sólidas: usado para detectar partículas metálicas y no metálicas, entre 5 y 50 μm .
- Análisis del nivel de desgaste de los mecanismos lubricados: muestra cantidades de metal disuelto y partículas de metal entre 5 a 10 μm . Estos representan desgaste, contaminación o aditivos metálicos.

Este tipo de análisis es uno de los más efectivos a la hora de monitorear la condición del activo debido a que muestra su estado interno, de manera más tangible que muchas otras técnicas. Lamentablemente, si no se cuenta con un laboratorio para hacer los análisis o el consumo de lubricante no es lo suficiente para acceder a un muestreo gratuito por parte del proveedor, se convierte en una de la técnica más costosa.

En la Figura 13, se observan los resultados obtenidos del análisis de aceite del compresor IMW de la EDS Exposiciones, realizado el 13 de abril de 2015

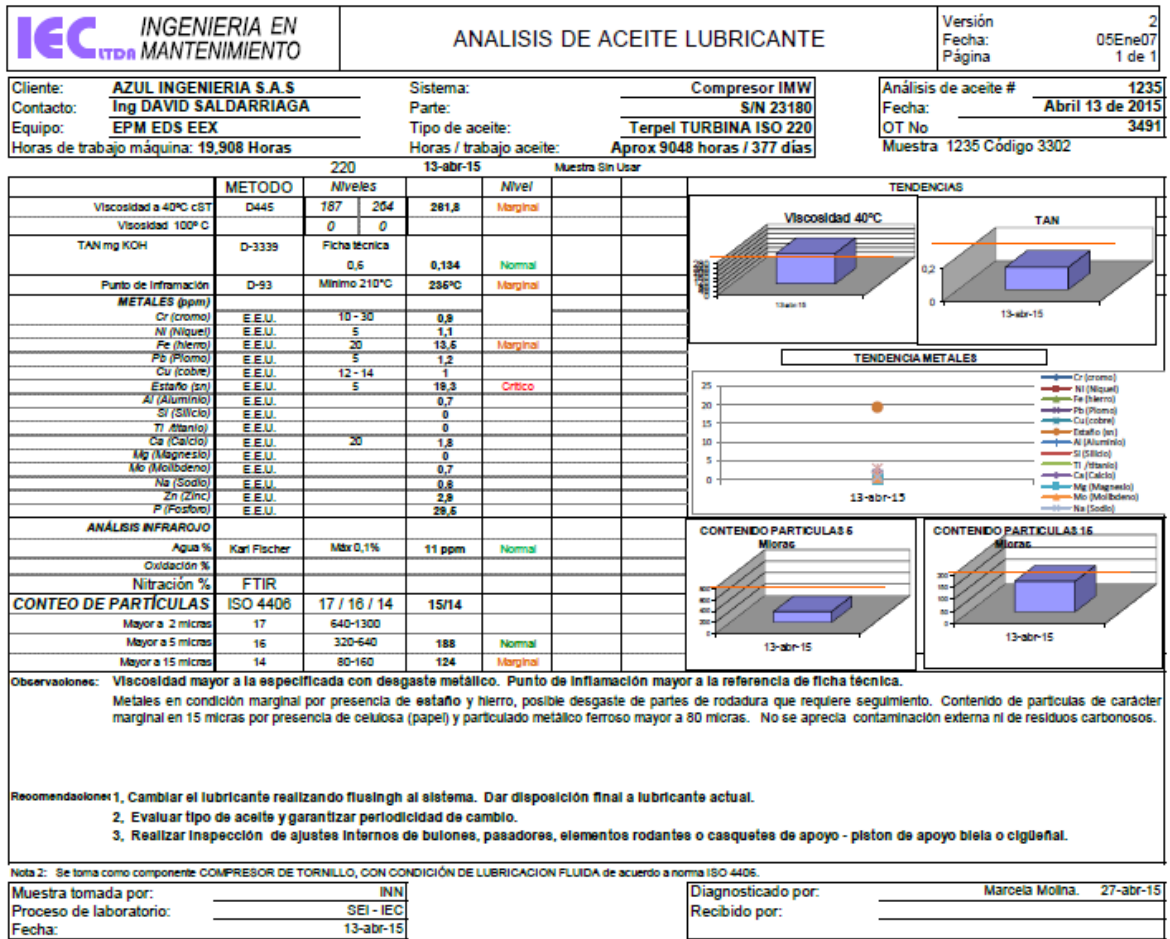


Figura 13. Formato informe resultados análisis de aceites
(IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013)

4.5. GENERALIDADES DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento tiene actividades que están dirigidas a mejorar gran variedad de elementos, como un proceso, un procedimiento, el desempeño de un equipo o de los componentes específicos de un equipo; detectando acertadamente las pérdidas, llevando a cabo las acciones correctivas, y registrando los eventos. Se debe llevar estadísticas para con ellas reestructurar

la programación del mantenimiento preventivo o predictivo, haciendo más confiable la máquina (Palacio, 2013).

El principal eje de acción es el entender la situación que se está presentando en el proceso o en la máquina teniendo en cuenta un equilibrio costo-beneficio.

El Plan de Mantenimiento constituye en un conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la máquina a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminaciones. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento (Palacio, 2013).

Los principales objetivos del plan de mantenimiento son:

- Reducir costos de mantenimiento
- Reducir tiempos de espera en los trabajos
- Eliminar radicalmente los fallos
- Establecer frecuencias óptimas de monitoreo en los equipos considerados críticos.
- Aplicar tecnologías predictivas necesarias para evaluar la condición de los equipos y evitar las consecuencias de los modos de falla.
- Evitar intervenciones innecesarias en los equipos mediante un correcto diagnóstico de la condición del equipo.
- Disminuir costos al intervenir un equipo, si los trabajos fuesen realizados en función del análisis de condición del equipo y no por tiempos cumplidos.
- Intervenciones más económicas mediante la detección del el fallo, evitando que la máquina funcione hasta la rotura.
- Disminuir de tiempo en la solución de averías mediante el conocimiento oportuno de cuál es el elemento defectuoso antes de intervenir la máquina.
- Controlar la calidad del trabajo realizado luego de efectuado un mantenimiento.

- Control inicial: Consta básicamente en implementar lo aprendido en los compresores durante el tiempo que se lleva en operación.
- Reducir el deterioro de los equipos actuales y mejorar los costos de su mantenimiento, así como incluir los equipos en proceso de adquisición para que su mantenimiento sea el mínimo, tengan confiabilidad, sean fáciles de mantener, de operar y seguros.
- Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a las situaciones de anomalía potencial.
- Seguridad y medio ambiente: Trata las políticas medioambientales y de seguridad regidas por la compañía (Sinais, 2013).

La Figura 14, Muestra la comparación de la detección del punto de falla entre distintos tipos de mantenimiento.

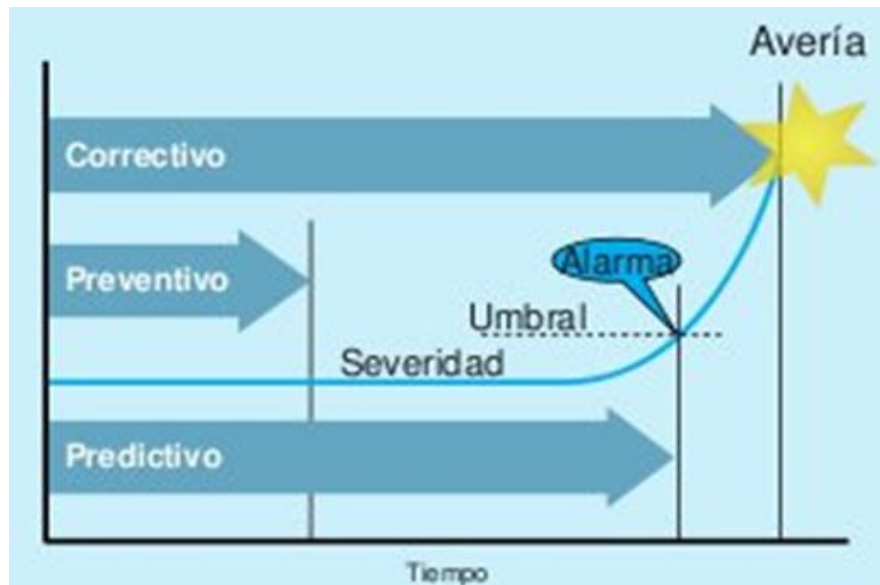


Figura 14. Comparación entre los distintos tipos de mantenimiento

Fuente: (Sinais, 2013)

5. METODOLOGÍA

5.1. IMPLEMENTACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Para implementar las rutinas de mantenimiento, primero se verificaron los requisitos de mantenimiento de cada uno de los equipos que componen la estación de servicio de gas natural vehicular. El plan de mantenimiento se estructuró siguiendo los siguientes apartados de la resolución 180928 del Ministerio de Minas y Energía, Colombia (2006):

A continuación, se van a citar los párrafos más relevantes de la resolución 180928: “El propietario o arrendatario de la EDS que suministra GNV debe contar y mantener vigente un plan de mantenimiento de la EDS que incluya las disposiciones de este reglamento.

Requisitos para la operación y mantenimiento del equipo de compresión:

- (ii) La operación y mantenimiento de los equipos de compresión deben ser realizadas únicamente por Personal Calificado y de acuerdo con los procedimientos instruidos por el Fabricante.
- (ii) Todo compresor debe contar con las instrucciones del fabricante sobre su instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento.
- (iii) Procedimientos de operación y mantenimiento, incluyendo los procedimientos de emergencia.
- (iv) El ajuste y operación de todos los interruptores de control y seguridad.”

“4.4.2 Requisitos para la operación y mantenimiento de la batería de almacenamiento

(i) La operación y el mantenimiento de la batería de Almacenamiento deben ser realizadas únicamente por personal calificado de acuerdo con los procedimientos instruidos por el fabricante.

(ii) Los Cilindros de GNV de la batería de almacenamiento deben contar con instrucciones del fabricante sobre su operación y mantenimiento.”

“4.5.2 Requisitos de operación y mantenimiento del surtidor de GNV o equipo de llenado”

(ii) La operación y el mantenimiento deben ser realizadas únicamente por Personal Calificado, de acuerdo con los procedimientos instruidos por el fabricante.

(iii) Todo surtidor o equipo de llenado debe contar con instrucciones del fabricante sobre su instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento.

(iv) En todo momento los medidores de los surtidores deben estar debidamente calibrados, de manera que la cantidad de gas entregado a los vehículos corresponda a la indicada por el medidor. El procedimiento y las tolerancias de verificación serán las que determine la Superintendencia de Industria y Comercio o quien haga sus veces.

(v) Contar con boquillas de llenado que cumplan con los requisitos establecidos en los numerales 4.4, 4.7 y 4.9 de la NTC 4824; no se debe utilizar ningún elemento o material adicional a las boquillas y receptáculos para tratar de obtener el sello hermético requerido. En caso de que no haya completa hermeticidad, no se debe suministrar GNV al vehículo.

(vi) Contar con una Válvula Break Away instalada en cada manguera de carga.

(vii) Los surtidores o equipos de llenado deben garantizar en todo momento un suministro de gas natural a los cilindros de GNV de los vehículos a la presión máxima de llenado de 20,69 Mpa. (3,000 psi) más o menos el 2,5%, a cualquier temperatura. El procedimiento de verificación de este requisito será el que determine la Superintendencia de Industria y Comercio o quien haga sus veces.

(viii) Las Islas de Surtidores en las que se ubican los equipos de llenado deben contar con:

a) Una Válvula de Corte Manual $\frac{1}{4}$ de Vuelta, en la línea de alimentación de GNC de los surtidores, alojada en una caja a nivel de la isla, a una distancia máxima de cero punto cinco (0,5) metros de la base del surtidor. El interior de la caja debe ser lo suficientemente amplio para garantizar la fácil operación de la válvula.

b) Una válvula automática de corte de flujo u otro sistema de corte de flujo automático a la entrada de cada surtidor, calibrado a la Presión Máxima de Llenado a cualquier temperatura.

(ix) Deben colocarse avisos visibles que cumplan con lo establecido en la NTC 1461 – primera actualización y que tengan las siguientes leyendas:

a) Las palabras “No Fumar”.

b) “Precaución gas combustible a alta presión”.

c) “Detener el motor y apagar las luces durante el llenado y accionar el freno de estacionamiento o emergencia”.

d) “Prohibido el llenado en ausencia del operario”.

e) “Desalojar el vehículo y no ubicarse frente o cerca del cilindro de GNV instalado en el vehículo, durante el llenado”.

f) “Apagar cualquier dispositivo electrónico o eléctrico mientras se encuentre abasteciendo el vehículo”.

“4.6 Equipos y accesorios de la EDS que suministra GNV

- Manómetros: Los manómetros deben medir por lo menos uno punto dos (1,2) veces la presión del gas natural en líneas o equipos de la EDS que suministra GNV.

- Tuberías, Mangueras y Accesorios: Las tuberías, mangueras y accesorios deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

(i) Ser compatibles con el gas natural en cualquier condición de operación de la EDS.

- (ii) Ser instalados con las medidas de protección adecuadas para resistir cualquier expansión, contracción o vibración que pudieran originarse durante la operación de la EDS.
- (iii) Estar protegidos contra daño mecánico y corrosión atmosférica.
- (iv) Ser marcados en forma permanente, indicando la fecha de fabricación, la presión máxima de operación permisible y nombre del fabricante.
- (v) La tubería instalada bajo el nivel del piso debe ser enterrada o instalada dentro de un cárcamo o encamisado y estar protegida contra la corrosión. No se deben utilizar conexiones roscadas ni bridadas en las tuberías enterradas.
- (vi) La tubería debe ser fabricada y probada de acuerdo con la ANSI/ ASME B31.3.
- (vii) No deben ser usados nipples de tubería para conexión, ni tuberías, componentes y/o accesorios de hierro, plástico, galvanizados o de aleaciones de cobre, cuando la composición de este elemento supere el 70%.
- (viii) Las mangueras no deben tener empalmes.
- (ix) Solo se permite el uso de mangueras en las EDS que suministran GNV, en la conexión de entrada al equipo de compresión y en los puntos donde se requiera proveer flexibilidad en la tubería.”

“4.6.3 Válvulas.

Las válvulas deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- (i) Ser compatibles con el gas natural en cualquier condición de operación de la EDS.
- (ii) Estar marcadas en forma permanente indicando la presión máxima de operación permisible, el caudal máximo, la fecha de fabricación e identificación del fabricante.
- (iii) Las Válvulas de Exceso de Flujo deben accionar su bloqueo cuando el caudal de gas natural alcance un valor igual o superior al normal de operación más un 10%.
- (iv) Las válvulas de seguridad deben estar selladas para prevenir su operación por personas no autorizadas. Cuando sea necesario romper el sello de la válvula de

seguridad, ésta debe ser retirada de servicio hasta que sea verificada su hermeticidad, calibrada y sellada nuevamente.

(v) Los ajustes a las válvulas de seguridad deben ser realizados por el fabricante o por Personal Calificado para el mantenimiento. Se deberá colocar una etiqueta permanente con el ajuste de presión, capacidad de flujo y fecha en que se realizó dicho ajuste.

(vi) La descarga de las Válvulas de Seguridad para Alivio de Presión se debe conducir por medio de tubería al aire libre, como mínimo a un (1) metro de altura sobre cualquier edificio que esté localizado dentro de un radio de cinco (5) metros. El punto de salida de la tubería debe contar con una protección contra la intemperie.”

“4.6.4 Instalaciones Eléctricas y de Control.

(i) Las zonas de Almacenamiento, Compresión y Llenado deberán clasificarse conforme a lo establecido en la sección 500 del capítulo 5 de la NTC 2050 - primera actualización.

(ii) Las instalaciones, componentes y equipos eléctricos y/o electrónicos ubicados en la EDS que suministra GNV deberán ajustarse a los requisitos establecidos en las secciones 500, 501, 504 y 505 del capítulo 5 de la NTC 2050- primera actualización.

(iii) La extensión del Área Clasificada deberá ser para cada Zona de la Estación de Servicio de GNV así:

Zona extensión del área clasificada

Zona de Almacenamiento 3,0 m

Zona de Compresión 4,6 m

Zona de Llenado 1,5 m

No se permitirán fuentes de ignición no eléctricas o fuegos abiertos dentro de la extensión del área clasificada. La extensión del área clasificada donde se

encuentran ubicadas las válvulas de seguridad para alivio de presión y sus accesorios será de cuatro punto seis (4,6) metros.

(iv) Las distancias serán medidas en todas las direcciones desde la batería de almacenamiento, compresor, surtidor y válvulas de seguridad para alivio de presión, según corresponda.

(v) Los requisitos generales de puesta a tierra y de conexiones equipotenciales en las instalaciones eléctricas de EDS que suministra GNV deberán cumplir con lo establecido en la sección 250 de la NTC 2050 - primera actualización.

(vi) Para garantizar el nivel de protección y seguridad de las instalaciones eléctricas localizadas en áreas clasificadas de la EDS que suministra GNV se debe realizar una inspección cada seis (6) meses como mínimo.

(vii) El panel de control debe activar todas las válvulas de corte de flujo automático y detener el compresor cuando se active una parada de emergencia, un detector de mezclas explosivas, o alarmas generadas por sensores de presión, temperatura o de funcionamiento anormal del compresor.

(viii) El restablecimiento de la operación de la EDS que suministra GNV, después de activada la parada de emergencia debe ser realizado por Personal Calificado.”

“4.6.5 Equipos de detección de gas y protección contra incendios.

(i) Toda EDS que suministra GNV debe cumplir con las especificaciones técnicas sobre sistemas automáticos para detección de gas natural y fuego, e instalación de extintores, establecidas en los numerales 15.4 y 15.5 de la NTC 4820 – primera actualización.

(ii) Se debe contar con un detector de mezclas explosivas sensible a la presencia de gas natural en una concentración de 1/5 de LEL, que active alarmas sonoras y luminosas cuando detecte dicha concentración de gas natural.”

“4.6.6 Sistemas de Corte del Servicio en Caso de Emergencia.

En cada una de las zonas de la estación de servicio de GNV se debe instalar un botón para corte del servicio en caso de emergencia, el cual debe ser de restitución manual, fácilmente accesible. Al accionar el botón del sistema de corte, automáticamente se debe interrumpir el flujo de gas en las Zonas de la Estación de Servicio de GNV.

Cada sistema de corte en caso de emergencia debe estar identificado con un letrero visible y legible que contenga la siguiente leyenda:

“PARADA DE EMERGENCIA”.

4.7 Pruebas de las EDS que suministran GNV

4.7.1 Pruebas Antes del Inicio de Operaciones de la EDS.

Antes del inicio de operaciones de la EDS que suministra GNV se debe verificar la hermeticidad de la instalación y el correcto funcionamiento de las líneas de conducción de gas natural y sus componentes mediante la realización de las pruebas descritas en los numerales 16.1, 16.3 y 16.4 de la NTC 4820 -primera actualización-. Mientras se llevan a cabo estas pruebas no se podrá suministrar GNV.”

“4.7.2 Pruebas Periódicas de la EDS.

En la EDS que suministra GNV se deben realizar las siguientes pruebas, periódicamente, como mínimo en los tiempos que se indican a continuación:

(i) Cada cinco (5) años se debe realizar una prueba hidrostática a los Cilindros de GNV de la Batería de Almacenamiento de la EDS. Esta prueba deberá ser

efectuado por un laboratorio de pruebas y ensayos acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio, para este efecto.

(ii) Cada seis (6) meses se debe verificar la ausencia de fugas de las tuberías, mangueras y componentes de la EDS que suministra GNV, realizando una prueba neumática con gas natural a la presión de servicio.

(iii) Cada seis (6) meses se deben probar las Válvulas de Seguridad para Alivio de Presión, Válvulas de Exceso de Flujo y demás dispositivos de seguridad, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

(iv) Las pruebas del sistema de detección de gas natural y de protección contra incendios, deben realizarse en los tiempos indicados por el fabricante, siguiendo el procedimiento establecido por éste” (Ministerio de Minas y Energía, 2006).

5.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo se realizó durante dos años y medio (2,5). Los resultados se evaluaron a partir de la información recolectada durante 6 meses.

La información de condición de los equipos se obtuvo mediante técnicas de mantenimiento predictivo y se balancearon las prácticas de mantenimiento preventivo y proactivo. Se implementaron visitas periódicas y rutinas de seguimiento a cada una de las EDS´s propiedad de EPM por un tiempo aproximado de cuatro meses. Las EDS a las cuales se les realizó la evaluación del mantenimiento predictivo fueron:

- EDS El Bosque.
- EDS La 30.
- EDS Belén.
- EDS Mayorca.
- EDS Exposiciones.

- EDS UdeM.

Se establecieron las siguientes actividades:

- Estandarización de métodos y secuencias lógicas para el mantenimiento.
- Disminución de los tiempos, operaciones y costos asociados de mantenimiento.
- Análisis de la información histórica de fallas para determinar los problemas reincidentes en los compresores.
- Se establecieron indicadores de gestión para mejorar el proceso de mantenimiento.
- Se realizaron registros fotográficos en sitio.
- Verificación de variables operativas.
- Verificación de la calidad de los repuestos.
- Implementación de normas de seguridad.
- Implementación de normas ambientales.
- Planificación y control de actividades.
- Estandarización de formatos.
- Verificación de inventario de repuestos.

5.3. IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Para implementar las rutinas de mantenimiento, se consultaron las recomendaciones de los fabricantes de los compresores Ariel (Anexo 23), IMW (Anexo 24) y Kwangshin (Anexo 25). Se tuvo en cuenta la experiencia adquirida durante los dos años y medio (2.5) de operación de las estaciones de servicio, además se analizaron los resultados de los mantenimientos predictivos y las condiciones particulares de funcionamiento de cada equipo.

5.4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Se evaluaron los siguientes resultados del mantenimiento predictivo

5.4.1. Análisis de vibraciones:

Para evaluar estos resultados se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Marca del equipo
- Ubicación del equipo
- Horas de trabajo del equipo
- Fecha de ejecución del anterior y próximo mantenimiento
- Presiones y temperaturas de operación
- Caudal de operación
- Potencia eléctrica
- Tipo de arranque del equipo
- Velocidad de rotación del motor.
- Distribución de los puntos de monitoreo

La Figura 15, identifica los puntos que se determinaron para el análisis de vibraciones en un compresor recíprocante e intercambiador de calor propiedad de EPM.

Nomenclatura de puntos tomados en el compresor para vibraciones:

1-Motor principal lado libre

2-Motor principal lado conductor

3-Cigüeñal lado acople

- 4-Cigüeñal lado libre
- 5-Primera etapa succión in
- 6-Primera etapa descarga in
- 7-Primera etapa succión out
- 8-Primera etapa descarga out
- 9-Segunda etapa succión
- 10-Segunda etapa descarga
- 11-Tercera etapa concéntrica
- 21-Intercambiador primera in – out
- 22-Intercambiador primera libre
- 23-Intercambiador segunda in – out
- 24-Intercambiador segunda libre
- 25-Intercambiador tercera in – out
- 26-Intercambiador tercera libre
- 31 a 36-Apoyo Chasis

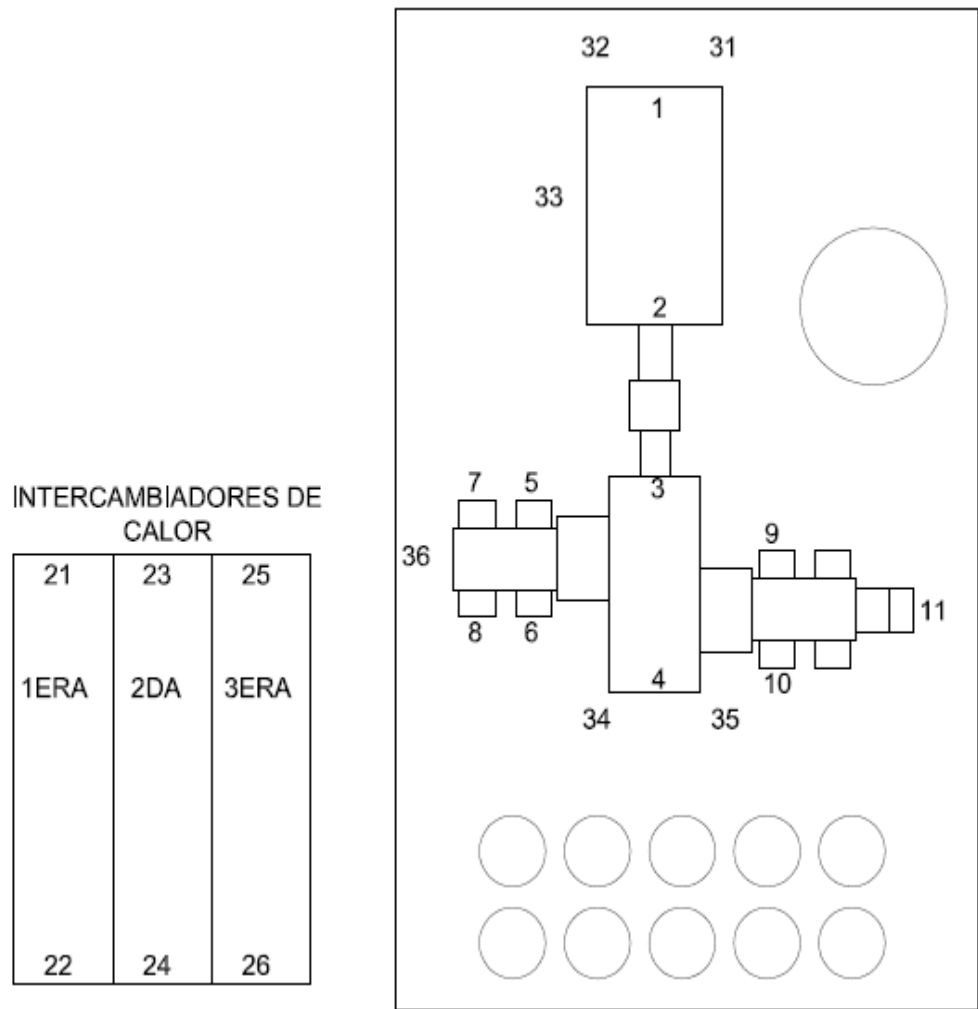


Figura 15. Esquema de toma de datos análisis de vibración
(IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013)

5.4.2. Termografías:

Para la evaluación termográfica de los compresores fue necesario identificar las variables operativas del equipo. Los puntos y equipos escogidos para estas mediciones fueron:

- Equipos Eléctricos: Motores, tableros, variadores,
- Compresor: Válvulas de todas las etapas, acoples, transmisores de potencia, cojinetes.

- Intercambiador de calor.

En la Figura 16, se muestra el formato de entrega de resultados de pruebas termográficas de un compresor propiedad de EPM

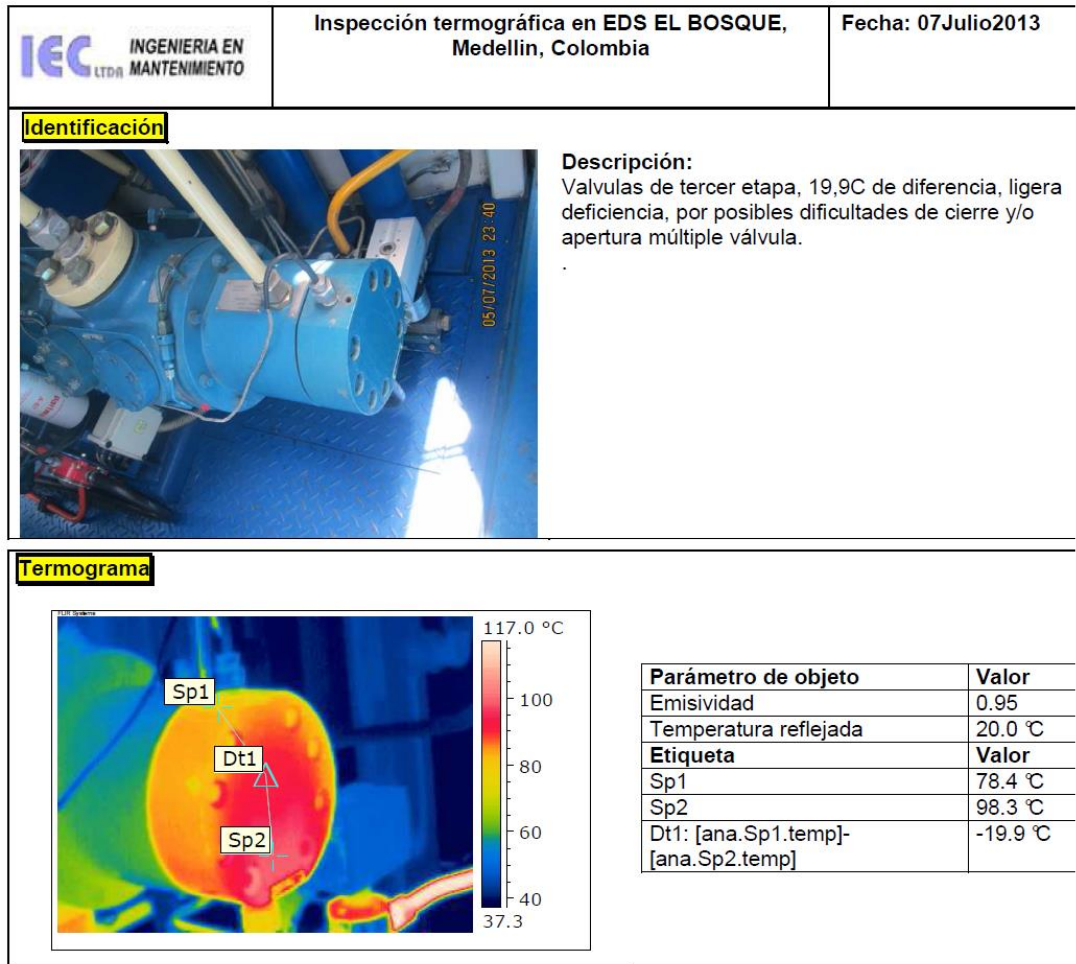


Figura 16, Formato de informe termografico
(IEC Ingenieria en Mantenimiento, 2013)

5.4.3. Análisis de aceite:

Los parámetros que se consideraron para el análisis de aceite de los compresores son los siguientes:

- Viscosidad a 40°C cST.

- Viscosidad 100° C
- TAN mg KOH
- Punto de Inflamación
- METALES (ppm)
- Agua %
- Oxidación %
- Nitración %
- Conteo de partículas

Con los resultados obtenidos del análisis de aceite, y comparando contra la ficha técnica del aceite, se determina si este cumple tanto en viscosidad, cómo en contaminantes los cuales son indicador de una posible falla por desgaste y si no se pone en riesgo la integridad del equipo.

La Figura 17, muestra un informe de tendencias de comportamiento del aceite

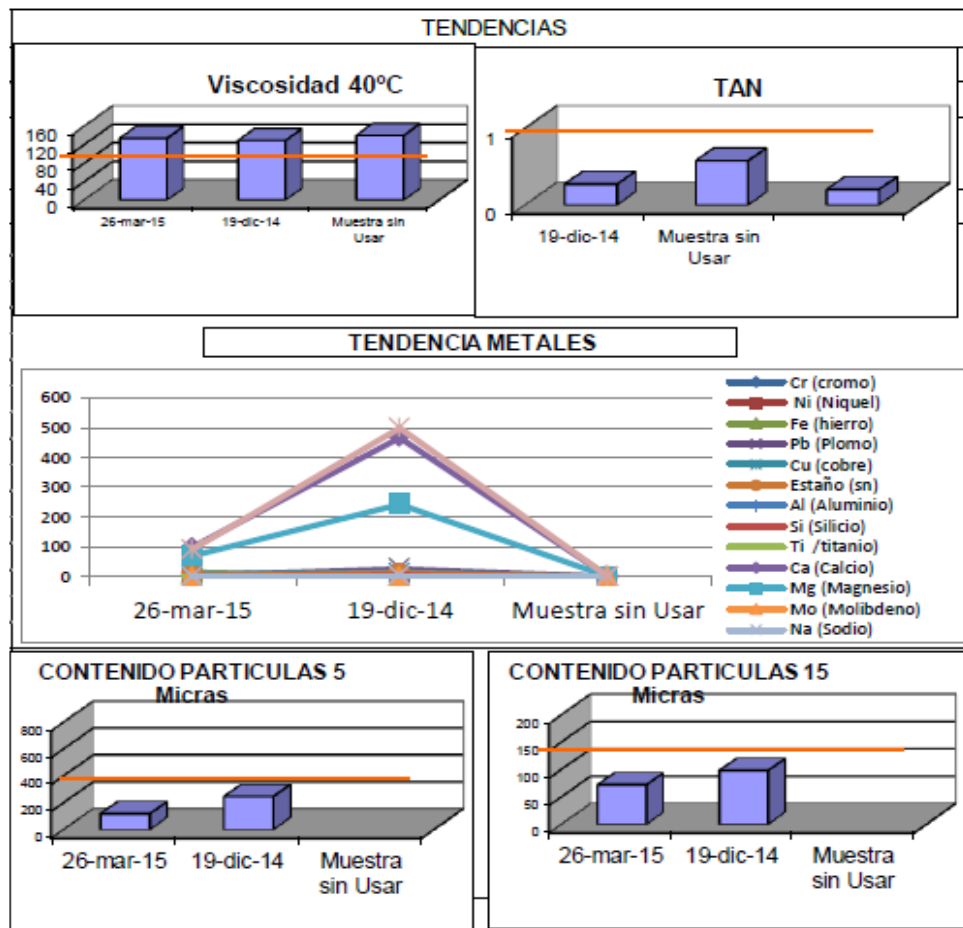


Figura 17. Tendencias de los parámetros evaluados en análisis de aceite (IEC Ingeniería en Mantenimiento, 2013)

5.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LOS COMPRESORES Y SURTIDORES.

Después de dos años y medio (2.5) de operación de las EDS por parte de EPM., se identificaron los problemas más comunes en los compresores y surtidores. Con base en esto se programó el personal técnico y los repuestos para atender los mantenimientos. Esto atendiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, la experiencia del contratista que ejecuta el mantenimiento, y monitoreando las variables operativas de los equipos, cómo son presiones, temperatura, amperajes, etc.

Para determinar los problemas más significativos, en compresores y surtidores se utilizaron los históricos de fallas de cada una de las EDS's. las cuales relacionan fechas de evento, causa, solución, tiempo de paro, afectación a la disponibilidad, repuestos utilizados, mano de obra y costos.

El monitoreo de las variables operativas se realizó teniendo en cuenta el historial de registros tomados por los técnicos en cada una de las inspecciones diarias realizadas a las EDS's, según el cronograma de actividades.

5.6. ANALIZAR POSIBLES SOLUCIONES PARA IMPLEMENTAR LOS PILARES ADECUADOS

Se estudiaron las bondades de cada uno de los tipos de mantenimientos y el que se consideró más adecuado para el tipo de equipo y condiciones operacionales fue el Mantenimiento Basado en la Condición (CMB), tiene como base el monitoreo de las condiciones o estado de los diferentes elementos de una máquina o equipo para decidir el momento óptimo (más adecuado) para realizar algunas tareas de mantenimiento. Se aplicaron también los principios básicos del pilar del (TPM) (por sus siglas en inglés) Justo a tiempo. Aprovechando las ventajas competitivas de sus cuatro objetivos esenciales que son:

- Poner en evidencia los problemas fundamentales.
- Eliminar despilfarros.
- Buscar la simplicidad.
- Diseñar sistemas para identificar problemas.

5.7. VERIFICAR POR INDICADORES DE GESTIÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El objetivo principal de la implementación de todo plan de mantenimiento es minimizar los paros no programados, garantizando con esto, la mayor disponibilidad

posible de las EDS de las EDS. Los equipos evaluados y atendidos en las EDS fueron los fueron los compresores y surtidores. La disponibilidad se evaluó aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Disponibilidad mes} = \left(\frac{\text{Horas totales mes} - \text{Horas paros}}{\text{Horas totales mes}} \right) \times 100$$

Los indicadores de gestión se evaluaron basados en los tiempos de respuesta para atender los eventos. Con la identificación de rutinas, actividades por horas de mantenimiento, definición de inventario de repuestos, seguimiento a la disponibilidad y los perfiles de competencias del personal encargado de ejecutar el mantenimiento. Se logró minimizar el tiempo de respuesta ante imprevistos y el mejoramiento de la mantenibilidad¹ de las EDS.

5.7.1. Índice de atención a órdenes de trabajo

Este indicador nos permitió controlar la efectividad de la empresa para atender las órdenes de servicio generadas durante un mes, y se calculó de la siguiente manera

$$\text{Ind mant prev} = \frac{\# \text{ ord emitidas}}{\# \text{ ordenes cumplidas}}$$

5.7.2. Proporción de costo de mantenimiento preventivo

Consiste en calcular la proporción de los costos de mantenimiento preventivo sobre los costos totales de mantenimiento. El periodo de cálculo es de un mes.

$$\text{CMP} = \frac{\text{Costo Mantenimiento preventivo}}{\text{Costo mantenimiento total}}$$

5.7.3. Proporción de costo de mantenimiento correctivo

Consiste en calcular la proporción de los costos de mantenimiento correctivo sobre los costos totales de mantenimiento. El periodo de cálculo es de un mes.

¹ Mantenibilidad: es la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos (AEC, 2015)

$$CMC = \frac{\text{Costo mantenimiento correctivo}}{\text{Costo mantenimiento total}}$$

5.7.4. Tiempo medio de reparación

Permite medir la eficacia de la gestión del mantenimiento para dar solución a las fallas presentadas en un periodo de un mes.

Su cálculo consiste en medir el tiempo que transcurre entre el momento en se presenta la falla del equipo y se genere la orden de servicio, hasta que se soluciona. La información necesaria para hacer seguimiento a este indicador se diligencia en las órdenes de servicios generadas en cada mes.

5.8. EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS MANTENIMIENTOS POR CONDICIÓN

Se monitoreó el mercado de repuestos y consumibles, buscando en estos, especificaciones técnicas superiores a las que ofrecen los repuestos originales de los compresores, surtidores, periféricos de instrumentación y otros.

Se implementó la utilización de repuestos y consumibles de mejor calidad y se observó una reducción de los paros no programados, lo cual aumentó la disponibilidad de los equipos. Basados en los resultados obtenidos en los mantenimientos predictivos posteriores a dicha implementación, se detectaron ventajas operativas, permitiendo de esta forma disminuir la frecuencia de los mantenimientos por condición.

5.9. DEFINICIÓN DEL STOCK DE REPUESTOS

Se definió el stock de repuestos siguiendo los siguientes criterios:

- Recomendaciones de los fabricantes
- Seguimiento durante 2,5 años a la operación de los compresores
- Mantenimientos correctivos registrados

- Mantenimientos predictivos
- Disponibilidad y tiempos de entrega de los repuestos

6. RESULTADOS

6.1. IMPLEMENTACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO

En la implementación del plan de mantenimiento se contó con el compromiso por parte de la organización (EPM:). Se enfrentaron varios retos como fueron, la adaptación de las personas para los cambios en la forma de realizar el

mantenimiento, la adquisición de nuevos equipos que en su momento eran desconocidos en el mercado, mayor exigencia en la calidad del servicio, concientizar el personal sobre la importancia de la aplicación de las normas de seguridad y el respeto por el medio ambiente, etc. Para lograrlo fue necesario romper barreras ideológicas y culturales, además se comenzó a ver el mantenimiento como una gran inversión y no como un gasto.

Después de analizar todas y cada una de las variables de operación, las recomendaciones de los fabricantes de los equipos y los resultados de los mantenimientos predictivos, se determinaron los parámetros de mantenimiento.

La

Tabla 2, muestra las actividades que se definieron como rutinas periódicas de mantenimiento para compresores y surtidores de las EDS.

Tabla 2. Rutinas de mantenimiento compresores EDS's

RUTINAS DE MANTENIMIENTO COMPRESORES EDS's

NOMBRE RUTINA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	ACTIVO ASOCIADO
GNV MTTO SEMANAL COMPRESOR EDS	SEMANAL	Tomar lectura de horas de marcha	Compresor
		Tomar lectura variables eléctricas	
		Toma de variables operativas	
		Revisar niveles de aceite	
		Purgar condensados	
		Inspeccionar fugas de gas y aceite	
		Tomar variables medición de gas	
		Verificar presiones diferenciales	
		Verificar alarmas del compresor	
		Inspección visual y auditiva del equipo	
GNV MTTO SEMANAL SURTIDOR EDS	SEMANAL	Realizar prueba de teclado-Surtidor	Surtidor
		Realizar prueba de electroválvulas -Surtidor	
		Realizar prueba y lubricación de pico de llenado	
GNV MTTO MENSUAL COMPRESOR EDS	MENSUAL	Verificar presiones de manómetros vs PLC	Compresor
		Verificar ajuste conexiones eléctricas y boomeras	
		Verificar estado líneas venteo paking	
		Verificar Check ERM	
		Verificar temperaturas infrarrojo vs PLC	
		Verificar los sistemas de parada emergencia y sistemas de seguridad	
		Realizar Lavado General al Equipo	
		Limpieza malla Murphy	
GNV MTTO MENSUAL SURTIDOR EDS	MENSUAL	Verificar presiones de llenado en surtidores con manómetro patrón	Surtidor
		Verificar interruptor de venta	
Calibración válvulas de seguridad	SEMESTRAL	Parar el equipo, retirar las válvulas de seguridad, verificar el punto de disparo y si no es el correcto ajustarlo.	EQ ACCES
Control a instalaciones eléctricas APE		Verificar que todas las instalaciones a prueba de incendios esten cumpliendo las condiciones operativas.	
Prueba neumática		Verificar estanqueidad en las líneas	
Verificación válvulas exceso de flujo		Verificar el accionamiento adecuado, de acuerdo al flujo dado	
Verificar Sistema Contra Incendio		Verificar el adecuado funcionamiento del sistema	
Prueba detector de mezclas explosivas		Realizar las pruebas de detección al 10% y 20% del LEL	
Realizar Termografías		Realizar termografía a todos los puntos seleccionados dentro el equipo	
Realizar análisis de vibraciones		Realizar analisis de vibraciones en los puntos seleccionados del equipo	
Calibración surtidores	SEMESTRAL	Realizar las acciones necesarias para que los medidores masicos de los surtidores cumplan las disposiciones dadas en la NTC 5335	Medidor Surtidor
Prueba Hidrostática de las mangueras de llenado		Verificar estanqueidad en las mangueras de los surtidores	Surtidor
GNV MTTO ANUAL COMPRESOR EDS	ANUAL	Calibración transductores	Compresor
		Calibración manómetros	
		Calibración sensores temperatura	
GNV MTTO ANUAL SURTIDOR EDS	ANUAL	Calibración transductores surtidores	Surtidor
		Calibración manómetros surtidores	
GNV MTTO QUINQUENAL CILINDROS	QUINQUENAL	Realizar Prueba Hidrostática a los cilindros de la batería	Cilindros
GNV MTTO QUINQUENAL EQ ACCES	QUINQUENAL	Realizar Prueba Hidrostática a la Tubería	EQ ACCES

6.1.1. Implementación de formatos para monitoreo de equipos

Se construyeron los formatos para obtener la información en cada una de las inspecciones periódicas de los equipos, esto con el fin de tener evidencia de la

información de las condiciones de los equipos en tiempo real y un soporte escrito y ordenado de la información. Los formatos que se elaboraron fueron:

- Formato de inspección semanal: En este formato se recolectaron los datos de las principales variables operativas de los equipos, anomalías y otras observaciones en una semana; como se pueden observar en las Tabla 3 y
- Tabla 4.

Tabla 3. Formato Inspección Semanal Página 1



Formato - Inspección Estaciones GNV																			
Formato Semanal - Inspección Estaciones GNV										F-000-001									
OT No.								REALIZADO POR											
								EMPRESA											
SEMANA No								# SERIAL COMPRESOR											
E.D.S								FECHA (DD-MM-AAA)											
HORA INICIO								HORA FIN											
1 Toma de variables operativas																			
DATOS		LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO							
		PRES (BAR)	TEMP (°C)	PRES (BAR)	TEMP (°C)	PRES (BAR)	TEMP (°C)	PRES (BAR)	TEMP (°C)	PRES (BAR)	TEMP (°C)	PRES (BAR)	TEMP (°C)						
Presión Gasoducto																			
Entrada																			
1° etapa																			
2° etapa																			
3° etapa																			
4° etapa																			
B.Alta																			
B.Media																			
B.Baja																			
Salida																			
Aceite																			
Horas de marcha																			
Adición de aceite			Litros		Litros		Litros		Litros		Litros		Litros						
Pulsos de lubricación																			
2 Inspección visual y auditiva del equipo																			
Observaciones Inspección																			
3 Toma lectura variables eléctricas																			
Variables Eléctricas																			
Consumo Energía			Corriente Ventilador 1						Corriente Ventilador 2										
Lovato	Kw/h 1	Kw/h2	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3								
Corriente Bomba Prelubricación			Corriente Ventilador Auxiliar						Factor de Potencia										
L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3											
DATOS		LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Motor Principal																			
		L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1
Voltaje Entre Faces																			
Observaciones Inspección																			

Tabla 4. Formato Inspección Semanal Página 2

4 Variables medición de gas																					
Verificación Medidor		Nivel de Aceite	OK		Bajo		Alto														
Datos Corrector																					
DATOS	LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO										
Rata de Flujo		m ³		m ³		m ³		m ³		m ³	m ³										
Presión		Bar		Bar		Bar		Bar		Bar	Bar										
Temperatura		°C		°C		°C		°C		°C	°C										
Volumen no corregid		m ³		m ³		m ³		m ³		m ³	m ³										
Volumen Corregido		m ³		m ³		m ³		m ³		m ³	m ³										
Volumen Medidor		m ³		m ³		m ³		m ³		m ³	m ³										
Observaciones Inspección																					
5 INSPECCIÓN SURTIDORES																					
DATOS		S1		S2		S3		SI	NO	OK	OBSERVACIONES										
		C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6														
Realizar prueba de teclado																					
Verificar estado Gral. de mangueras llenado																					
Realizar prueba de electroválvulas -Surtidor																					
Realizar prueba y lubricación de pico de llenado																					
DATOS	LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO					
	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3			
Purga Surtidores																					
Observaciones Inspección																					
6 LISTA DE VERIFICACIÓN																					
DATOS				SI	NO	OK	ESTADO														
Verificar el nivel de aceite al lubricador del sistema neumático																					
Verificar el nivel de aceite en el tanque repositor																					
Verificar el nivel de aceite de la bomba																					
Verificar el nivel de aceite en el sensor de nivel																					
Purgar tanque de recuperación																					
Purgar los separadores inter etapas																					
Inspeccionar fugas de gas y aceite																					
Verificar que la presión diferencial de los filtros de aceite no supere los 15 psi																					
Verificar las ultimas alarmas que aparecen en el historial																					
OT No.	Descripción orden trabajo						Tiempo ejecución			Observaciones											
	GNV MTTO SEMANAL COMPRESOR # 1																				
	GNV MTTO SEMANAL COMPRESOR # 2																				
	GNV MTTO SEMANAL SURTIDOR #1 EDS																				
	GNV MTTO SEMANAL SURTIDOR #2 EDS																				
	GNV MTTO SEMANAL SURTIDOR #3 EDS																				


- Formato de inspección mensual: En este formato se recolectaron los datos de las principales variables operativas de los equipos, datos de inspección visual, pruebas y otras observaciones. Se diligencia una vez al mes, como se puede observar en las Tabla 5 y Tabla 6

Tabla 5. Formato de inspección mensual página 1

Formato - Inspección Estaciones GNV							
Formato Mensual - Inspección Estaciones GNV							F-000-002
OT No.				REALIZADO POR			
SEMANA No				EMPRESA			
E.D.S				# SERIAL COMPRESOR			
HORA INICIO				FECHA (DD-MM-AAA)			
				HORA FIN			
1 Toma de variables operativas							
DATOS	Presiones (Bar)-ps		Temperaturas(°C)-°F		Observaciones Inspección		
	Manómetro	PLC	Infrarrojos	PLC			
Presión Gasoducto							
Entrada							
1° etapa							
2° etapa							
3° etapa							
4° etapa							
B.Alta							
B.Media							
B.Baja							
Salida							
Aceite							
2 LISTA DE VERIFICACIÓN							
DATOS	SI	NO	OK	Observaciones Inspección			
Limpieza malla Murphy							
Verificar ajuste conexiones eléctricas y borneras							
Verificar estado líneas venteo paking							
Verificar Check ERM							
Realizar Lavado General al Equipo							
Observaciones Inspección							
3 INSPECCIÓN SURTIDORES							
DATOS	Lecturas	S1		S2		S3	
		C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Verificar presiones de llenado en surtidores con manómetro patrón	L-1	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
	L-2	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
	L-3	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
Verificar interruptor de venta							
Observaciones Inspección							



- Formato legalización Orden de Trabajo (OT): En este formato se recolectan los datos de las principales de las OT correctivas que se generan durante el mes, teniendo en cuenta los recursos utilizados para dicha actividad; como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Formato legalización OT Correctiva

Formato - Inspección Estaciones GNV			
Formato Legalización OT Correctivas		F-000-003	
OT No.		REALIZADO POR	
		EMPRESA	
SEMANA No		# SERIAL COMPRESOR	
E.D.S		FECHA (DD-MM-AAA)	
HORA INICIO		HORA FIN	
1	SITUACIÓN ENCONTRADA		
2	ACCIONES EJECUTADAS		
3	REPUESTOS UTILIZADOS		
	Repuestos utilizados	Cantidad	Repuestos retirados
			Cantidad
4	REGISTRO FOTOGRAFICO		

- Formato Hoja de vida compresores: En este formato se recolectan las especificaciones de los equipos y las novedades más representativas durante la vida útil del equipo como se puede observar en la Tabla 8

Tabla 8. Formato hoja de vida compresores

			
FICHA TECNICA COMPRESORES GNV			
CODIGO:			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO			
NOMBRE EDS			
UBICACIÓN			
MARCA COMPRESOR			
FABRICANTE			
PAQUETIZADOR			
MODELO COMPRESOR			
SERIE			
CAPACIDAD NOMINAL			
VELOCIDAD DE OPERACIÓN			
POTENCIA			
PRESIÓN DE SUCCIÓN	Min	Max	
PRESION DE DESCARGA	Min	Max	
ESPECIFICACIONES TECNICAS		CONDICIONES DE OPERACIÓN	
MOTOR PRINCIPAL:			
POTENCIA			
VELOCIDAD			
CARGA			
VOLTAJE			
CORRIENTE			
MOTORES INTERCAMBIADOR DE CALOR:			
POTENCIA			
VELOCIDAD			
CARGA			
VOLTAJE			
CORRIENTE			
EVENTOS PRINCIPALES			
DESCRIPCIÓN		FECHA OCURRENCIA	

- Formato Servicios por horas de trabajo para compresores: En estos formatos se registran las tareas programadas para cada servicio de mantenimiento de los equipos como se puede observar en las
-

- Tabla 9 a
-
- Tabla 13

Tabla 9. Formato Servicio 400 horas página 1

Fecha:

Estación: N° Serie: N° Frame:

Hs de Marcha: Técnicos:

CHEQUEO DE TAREAS REALIZADAS

1. Se ha revisado la programación en el exor? (seteos de alarmas, tiempos de arranque y parada, ajustes de presiones y temperaturas, etc.)
2. Registrar últimas cinco alarmas: 1ª.....
2ª..... 3ª.....
4ª..... 5ª.....
3. Se aprecian ruidos o vibraciones anormales?
4. Registre aquí valor de pulso de lubricación secundaria..... y de placa:
5. Sopla en exceso por los venteos de los sellos de vástago?
Por C1 ó C2? Por zona inferior ó pata?
6. Se controlaron y se corrigieron las fugas de gas?
7. Se controlaron y corrigieron las pérdidas de aceite?
8. La presión de aceite primaria esta entre 50 y 60 PSI? Registre.....
9. La temperatura esta por debajo de los 90°C? Registre.....
10. Las presiones y las temperaturas operan dentro de los valores de corrida Ariel?.

	ENTRADA	1° ETAPA	2° ETAPA	3° ETAPA	4° ETAPA	SALIDA
PRESION						
TEMP.						

11. Se verificó funcionamiento correcto de válvula de retención (Torsa)?
12. El nivel de aceite dentro del carter es de aprox. ¾ de ojo de inspección? (Con equipo parado)
13. Se verificó la calibración de los traductores de presión?
Si tienen un ajuste mayor a 15 bares reemplazarlos. Fueron reemplazados?
Cual?
14. Se verifico funcionamiento de manómetros de etapas?

Tabla 10. Formato Servicio 400 horas página 2

Servicio 400 horas

Hay alguno descalibrado?, cual?.....

- 15. Se verifico el nivel del lubricador de gas de control?
- 16. Se ajusto la inyección de aceite en gas de control (1 gota cada 5 operaciones de actuador)
- 17. Se chequeo visualmente estado de componentes de tablero eléctrico de potencia y control?

SURTIDOR

- 1. Se chequeo presión de despacho en manómetros?
- 2. Se verificaron fugas de gas en surtidores?
- 3. Se verificó correcto funcionamiento de teclado de surtidor?
- 4. Se verificó correcto funcionamiento del Display de surtidor?
- 5. Se verificó correcto funcionamiento de switch de pico de carga?
- 6. Se verificaron fugas de gas en válvula de 3 vías?
- 7. Se verificaron las mangueras de surtidor?

OBSERVACIONES

Fecha:

Estación: N° Serie: N° Frame:

Hs de Marcha: Técnicos:

CHEQUEO DE TAREAS REALIZADAS

1. Se ha revisado la programación en el exor? (seteos de alarmas, tiempos de arranque y parada, ajustes de presiones y temperaturas, etc.)
2. Registrar últimas cinco alarmas: 1ª.....
2ª..... 3ª.....
4ª..... 5ª.....
3. Se aprecian ruidos o vibraciones anormales?
4. Registre aquí valor de pulso de lubricación secundaria y de placa:
5. Sopla en exceso por los venteos de los sellos de vástago?.
Por C1 ó C2? Por zona inferior ó pata? Fueron reemplazados los sellos?
Fue reemplazada la junta de caja de sellos? y la junta de porta caja de sellos?
6. Se controlaron y se corrigieron las fugas de gas?
7. Se controlaron y corrigieron las pérdidas de aceite?
8. La presión de aceite primaria esta entre 50 y 60 PSI? Registre
9. La temperatura esta por debajo de los 90°C? Registre
10. Las presiones y las temperaturas operan dentro de los valores de corrida Ariel?.

	ENTRADA	1° ETAPA	2° ETAPA	3° ETAPA	4° ETAPA	SALIDA
PRESION						
TEMP.						

11. Se verificó funcionamiento correcto de válvula de retención (Torsa)?
12. El nivel de aceite dentro del carter es de aprox. ¾ de ojo de inspección? (Con equipo parado)
13. Se verificó la calibración de los traductores de presión?
Si tienen un ajuste mayor a 15 bares reemplazarlos. Fueron reemplazados?

Tabla 12. Formato Servicio 2000 horas página 2

- Cual?
14. Se verifico funcionamiento de manómetros de etapas?
- Hay alguno descalibrado?, cual?.....
- Se reemplazo alguno? Cual?
15. Se reemplazo filtro de aceite compresor?
16. Se reemplazo el cartucho del filtro coalescente de gas de salida?
17. Se limpió el filtro trampa "Y" de aceite?
18. Se reemplazó el aceite del box de mecanismo de lubricación secundaria?.
19. Se limpio filtro del respiradero de carter compresor?
20. Se verifico el nivel del lubricador de gas de control?
21. Se ajusto la inyección de aceite en gas de control (1 gota cada 5 operaciones de actuador)
22. Se chequeo visualmente estado de componentes de tablero eléctrico de potencia y control?
23. Se lubricaron los rodamientos motor teniendo en cuenta el intervalo que figura en la placa del mismo
Registre aquí intervalo de placa motor
24. Se recalibraron las válvulas de seguridad de los recipientes sometidos a presión. Estas deben ser recalibradas a la presión de apertura que figura en la placa de cada válvula. La recalibracion debe ser cada 1 (uno) ano.

SURTIDOR

1. Se chequeo presión de despacho en manómetros?
2. Se verificaron fugas de gas en surtidores?
3. Se verificó correcto funcionamiento de teclado de surtidor?
4. Se verificó correcto funcionamiento del Display de surtidor?
5. Se verificó correcto funcionamiento de switch de pico de carga?
6. Se verificaron fugas de gas en válvula de 3 vías?
7. Se verificaron las mangueras de surtidor?

Tabla 13. Formato Servicio 2000 horas página 3

REPUESTOS

- 1 FILTRO DE ACEITE "ARIEL"
- 1 FILTRO COALESCENTE (VER MODELO SEGÚN COMPRESOR)
- 1 KIT REPARACIÓN VALVULAS 3 VÍAS BY PASS (SI APLICA)
- 1 KIT REPARACIÓN VALVULA 1 VIA, ½" y 1"
- 1 KIT REPARACIÓN VALVULA DE RETENCION, ½" y 1"
- 2 KIT REPARACIÓN DE REGULADORA SURTIDOR
- 1 KIT REPARACIÓN DE ELECTRO VÁLVULA SURTIDOR
- 2 KIT REPARACIÓN DE VALVULA DE 3 VÍAS DE CARGA SURTIDOR
- 1 SWICHT DE PICO DE CARGA SURTIDOR

OBSERVACIONES

6.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

6.2.1. Evaluación de resultados análisis de vibraciones

Se tomó la decisión de ejecutar mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones antes y después de cada intervención de mantenimiento, por horas de operación, esto con el fin de tener una línea base control. Se disminuyeron las frecuencias de los mantenimientos recomendados por los fabricantes, teniendo en cuenta las condiciones operativas de cada equipo. Dentro del plan de mantenimiento se establecieron rutinas semestrales para esta actividad. Para la interpretación de los resultados arrojados por los análisis de vibraciones se programaron capacitaciones para el personal involucrado en la toma de decisiones, esto con el fin de generar criterios al momento de dar directrices sobre la administración del mantenimiento.

6.2.2. Evaluación de análisis de aceites

Se tomó la decisión de ampliar la frecuencia de cambio de aceite del compresor IMW instalado en la EDS exposiciones de 1000 horas recomendadas por el

fabricante, a 2000 horas. Esta decisión se tomó debido a que el aceite en este tiempo todavía conserva sus propiedades de lubricación y protección y no representa riesgo para el equipo. En las demás EDS se conservan las rutinas establecidas por el fabricante, por tratarse de sistemas de lubricación diferentes (lubricación a pérdida).

6.2.3. Evaluación Termográfica

Con la evaluación de los resultados de las termografías, se evidenciaron problemas en los componentes eléctricos y la eficiencia en los intercambiadores en operación. Así mismo, se pudo determinar la vida útil de algunos componentes de los equipos como válvulas inter etapas, cojinetes, devanados de motores, componentes de control electrónico, contactos erróneos.

6.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE COMPRESORES Y SURTIDORES

Para la identificación de los problemas en compresores y surtidores, se tuvo en cuenta el historial de fallos de cada una de las EDS a partir de abril 1 de 2015 hasta agosto 31 de 2015

Los resultados son los siguientes:

Tabla 14. Fallas Eléctricas en compresores y surtidores 2015

Fallas eléctricas: Se presentaron 18 eventos

Mes	Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento
enero	10/01/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Falla eléctrica externa
marzo	20/03/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Alarma en el compresor
marzo	21/03/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Alarma en el compresor
abril	08/04/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Falla motor principal
abril	10/04/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Falla motor principal
abril	11/04/2015	EDS LA 30	Falla Eléctrica	Calentamiento en capacitor de paso fijo
abril	26/04/2015	EDS UdeM	Falla Eléctrica	Corte del fluido eléctrico por trabajos para empalme de instalaciones de Metroplus
mayo	01/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Falla Eléctrica	Surtidor apagado
mayo	14/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Falla Eléctrica	Surtidor apagado
junio	28/06/2015	EDS EXPOSICIONES	Falla Eléctrica	Breaker de alimentación disparado
julio	08/07/2015	EDS MAYORCA	Falla Eléctrica	Caída de tensión en
Agosto	05/08/2015	EDS LA 30	Falla Eléctrica	Falla en energía
Agosto	07/08/2015	EDS EXPOSICIONES	Falla Eléctrica	Falla en fusible rapido del arrancador suave
Agosto	09/08/2015	EDS UdeM	Falla Eléctrica	Falla electrica
Agosto	14/08/2015	EDS EXPOSICIONES	Falla Eléctrica	2 Fusibles abiertos
Agosto	18/08/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Alarma Falla motor principal
Agosto	19/08/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Conteo de gas sin autorizar venta
Agosto	22/08/2015	EDS EL BOSQUE	Falla Eléctrica	Bloqueo error solenoide

Tabla 15. Fallas por Fuga en compresores y surtidores 2015

Fallas por fugas de gas en compresores y surtidores: Se presentaron 37 eventos.

Se presentaron 94 eventos de los cuales el 34% fueron por daños en válvulas break

Mes	Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento
enero	06/01/2015	EDS UdeM	Fuga	Fuga en pico de llenado
enero	07/01/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga por pico de llenado rápido
enero	15/01/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en pico de llenado
enero	16/01/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga por válvula tres vías
enero	17/01/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga en pico de llenado HF
enero	26/01/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga por electro válvula
enero	26/01/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga por electro válvula
febrero	01/02/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga por electroválvula
febrero	07/02/2015	EDS EL BOSQUE	Fuga	Fuga en check manguera
febrero	07/02/2015	EDS UdeM	Fuga	away, alarmas por presión alta Fuga o baja en compresor o surtidor, y por
febrero	15/02/2015	EDS UdeM	Fuga	Fuga
febrero	24/02/2015	EDS BELEN	Fuga	Fuga en pico de llenado
marzo	11/03/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en válvula tres vías
marzo	16/03/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga en pico de llenado
marzo	17/03/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en válvula tres vías
marzo	18/03/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga en válvula tres vías
marzo	26/03/2015	EDS UdeM	Fuga	Fuga por válvula de 3 vías surtidor
marzo	28/03/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en intercambiador
marzo	28/03/2015	EDS BELEN	Fuga	Fuga en válvula de seguridad 1 Etp
abril	04/04/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en reguladora de presión de surtidor
abril	15/04/2015	EDS EL BOSQUE	Fuga	Break away desacoplada por buseta Metroplus
abril	21/04/2015	EDS UdeM	Fuga	Fuga por Break-away
abril	27/04/2015	EDS EL BOSQUE	Fuga	Fuga en pico de llenado
abril	29/04/2015	EDS EL BOSQUE	Fuga	Venteos en el compresor
mayo	07/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en surtidor
mayo	20/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga en Válvula de 3 vías de surtidor
mayo	26/05/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga en válvula de tres vías By-pass
junio	09/06/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga de gas Pico de llenado
junio	10/06/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga pico de llenado
junio	22/06/2015	EDS LA 30	Fuga	Fuga entre pico de llenado y válvula de 3 vías
junio	23/06/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Fuga Break away
julio	10/07/2015	EDS LA 30	Fuga	fuga pico llenado
julio	13/07/2015	EDS LA 30	Fuga	escape de gas por venteo
julio	17/07/2015	EDS UdeM	Fuga	fuga en válvula 3 vías
julio	18/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Fuga	Pico de llenado con fuga
julio	28/07/2015	EDS BELEN	Fuga	Fuga pico de llenado
Agosto	20/08/2015	EDS MAYORCA	Fuga	Pase de gas en electrovalvulas

daños en picos de llenado.

A continuación se muestran los eventos ocasionados por cada EDS:

Tabla 16. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS Belén

Fallas por desperfectos mecánicos en compresores y surtidores:

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
20/06/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Acople flexible dañado y tornillos fracturados	Cambio de acople cigüeñal y tornillos del acople flexible
10/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Alarma alta presión	Se realiza offset a temperatura de aceite
18/08/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Alarma baja presión	Se reinicia el compresor , no se encontró nada anormal
14/08/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Alarma baja presión aceite	Se reinicia el compresor , no se encontró nada anormal
18/08/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Alarma falta presión aceite	Se cambia suiche de presión de aceite
18/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	alarma temperatura mínima 1era	Se encuentra PT1000 en corto se deja lazo abierto, (2 días antes se había instalado nueva)
08/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Arranque de manguera	Se instala pico de llenado y Break away de Exposiciones
30/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Break away venteo y llenado desprendida	Se acoplan Break away venteo y llenado
08/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Compresor	Se reinicia el equipo
03/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Compresor Alarmado	Se cambia filtro de presión de aceite
25/02/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Daño en medidor ERM	El proveedor se lleva el medidor para el cambio de rodamientos y demás piezas internas
28/08/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Daño en pico de llenado (Se queda pegado)	Cambio de Pico de llenado

15/05/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Daño en sproket de bombas principal y secundaria, deterioro en casquetes	cambio de Sproket, eje de bomba e instalación de nuevos casquetes
28/07/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Daño en Suiche de Autorización de Despacho	Cambio Suiche de Autorización de Despacho
28/08/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Daño en Suiche de Autorización de Despacho	Cambio Suiche de Autorización de Despacho
20/05/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Falla en material del cigüeñal	Cambio de cigüeñal
01/06/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Falla en material del cigüeñal	Cambio de cigüeñal
15/04/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Falla en pico de llenado	Cambio de pico de llenado NGV-1
05/05/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Fallo en bielas y cigüeñal	Reparación de cigüeñal y bielas
12/02/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Instalación Válvulas de seguridad	Se cambian por que las que estaban instaladas no tenían certificado.
05/05/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Instrumentos de medición fuera de rango	Cambio de instrumentos
11/04/2015	EDS BELÉN	Correctiva	Pico de llenado se queda atascado	Se realiza mantenimiento al pico de llenado
21/04/2015	EDS BELÉN	Correctiva	pico de llenado se queda trabado	Se realiza mantenimiento completo al pico de llenado

Tabla 17. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS el Bosque

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
08/06/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Alarma fallo suiche de presión de aceite	Cambio de suiche de presión de aceite
04/06/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Alarma por falta presión de aceite	se modifica set point dejando en 250 y se hace seguimiento
19/01/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Caída en la rata de flujo del equipo	Revisión de válvulas 1,2 y 3 etapa

09/03/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Compresor con alarma presencia gas 10%	Se revisan fugas y no se encuentra ninguna, se revisa historial de alarmas y se observa alarmas repetitivas por este motivo, se desconecta sensor
28/08/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Daño en Break Away por unidad de SAO TTN581	Cambio de Break Away
29/04/2015	EDS EL BOSQUE	Fuga	Venteos en el compresor	Se modifica seteos en prioridad, se modifica offset PT despacho, se continúa seguimiento.
14/08/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Error paso de solenoide	Se aprieta parada de emergencia que estaba floja
29/05/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Instrumento fuera de rango	Cambio suiche de presión de Aceite Compresor
09/05/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Manguera no despacha	Se encuentra válvula tres vías en posición de llenado.
17/07/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Manguera reventada S1 C2	Se arregla break away y conector de venteo
25/04/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Manillar válvula tres vías fracturado	Se reemplaza manillar SWAGELOK
02/04/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Manillar válvula tres vías se fracturó	Se reemplaza por otro que se saca de una válvula que se tiene en stock
19/08/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	No salía gas de los surtidores	La válvula de exceso de flujo se bloqueó, se desbloquea y queda despachando gas los surtidores
15/01/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Pico de llenado atrancado en receptáculo de taxi	Se desarma pico de alto flujo
21/02/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Se desprende break away	Se reconecta sin dificultades

29/07/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Sin venteo Cara 4	Se instalan conectores y accesorios para conectar el venteo
16/02/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Tanqueo lento	Se cambia internos del regulador del surtidor (codeiron)
19/02/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Tanqueo lento	Se cambia Internos del regulador del surtidor (codeiron)
03/06/2015	EDS EL BOSQUE	Correctiva	Válvula sin mando direccional	Se cambia mando direccional

Tabla 18. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS en Exposiciones

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
15/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Alarma alta presión de Aspiración	Se cambia conector transductor de presión
08/03/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Alarma en el compresor	Se revisa y se encuentra guarda motor de uno de los motores de los ventiladores activado, se revisa y no se encuentra nada anormal, se rearma guarda motor y se da marcha
30/04/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Alarma en el compresor	Se des alarma compresor, verificando voltajes y corrientes
20/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Alarma falla motor principal	Se desactiva guarda motor
30/04/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Alarmas sucesivas por parada de emergencia	Se revisan las paradas de emergencia en surtidores encontrándolas OK, se decide obviar el circuito de paradas de emergencia del compresor y el equipo se puede habilitar.
20/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Baja presión de llenado	Se desactiva guarda motor
20/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Baja presión de llenado	Se desactiva guarda motor

20/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Baja presión de llenado	Se desactiva guarda motor
22/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Break away cara 3	Se cambia Break away cara 3
07/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Break-away desacoplada	Se reacopla break-away
30/04/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Breakaway manguera 1 desacoplada por Bus SAO TTM413	Se acopla Break-Away, el paral el surtidor queda muy afectado, se notan daños en manguera, válvula 3 vías, pico de llenado y Break-Away
18/08/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Daño de surtidor por vehículo de la flota de Masivos	Reparación de chasis del surtidor y cambio de partes
14/01/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Daño en actuador y válvula 3/8 de Recovery	Cambio de Válvula y Actuador
26/06/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Daño suiche 2 posiciones	Cambio de Suiche
06/01/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Desacoplada del break-away por articulado Metroplus	Se acopla de nuevo break away
22/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	electroválvulas bloqueadas banco	Se cambia internos de electroválvulas
04/02/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Falla en teclado	Se cambia teclado
10/06/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Falla motor ventilador	Se restablece guarda motor del ventilador 2
03/08/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	La Break away de venteo no desprende	Se cambia pin de Break away
02/05/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Problemas con presión de despacho.	Debido a las sucesivas alarmas por parada de emergencia, los balancines a la salida del compresor se desajustaron, se reajustan.
06/03/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Se desprende break away	Se reconecta sin dificultades

13/07/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Surtidor 1	Se organiza en compañía del encargado de sistemas habían problemas en jumper
30/04/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Surtidor apagado	Se detecta que el breaker que gobierna la energía al surtidor estaba en posición off, se rearma, continúan las alarmas por parada de emergencia. Se deshabilita la UPS para mirar si el problema radica allí.
26/08/2015	EDS EXPOSICIONES	Correctiva	Teclados Malos	Cambio de teclados

Tabla 19. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS Mayorca

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
20/08/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Daño en teclado del corrector	Se cambian teclado
26/02/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Deterioro en tubería del intercambiador de calor	Cambio de tubería por tubing de 3/4 en acero inoxidable
20/08/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	El corrector no tiene protector de línea telefónica	Se instala protector de línea
21/05/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Falla en teclado	Cambio Teclado
06/05/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Fuga pico de llenado	Se cambia pico de llenado
21/05/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Instrumento fuera de rango	Cambio suiche de presión de Aceite Compresor
21/02/2015	EDS MAYORCA	Correctiva	Mando de válvula de 3 vías reventado	Se cambia la válvula de 3 vías

Tabla 20. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS de UdeM

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
-------	----------	----------------	------------------------	--------------------

16/05/2015	EDS U de M	Correctiva	Alarma por alta presión	Se encuentra válvula de salida del compresor 1 cerrada , se abre y se normaliza operación
05/04/2015	EDS U de M	Correctiva	Baja presión de despacho	Se revisa y se hacen pruebas y se encuentra el surtidor funcionando adecuadamente
28/02/2015	EDS U de M	Consumo de gas		
16/07/2015	EDS U de M	Correctiva	Compresor 2 alarmado	se cambia discos de estallidos por unos fabricados
19/07/2015	EDS U de M	Correctiva	Compresor 2 alarmado	se cambia discos de estallidos por unos fabricados
30/07/2015	EDS U de M	Correctiva	Daño en Suiche de Autorización de Despacho	Cambio Suiche de Autorización de Despacho
06/04/2015	EDS U de M	Correctiva	Daño Suiche codillo de surtidor	Cambio de Suiche
10/05/2015	EDS U de M	Correctiva	Falla en pulso lubricación	Se reemplaza disco de estallido , se purga el sistema
06/06/2015	EDS U de M	Correctiva	Fuga Break away	Cambio de Break-Away
19/01/2015	EDS U de M	Correctiva	No se puede tomar la presión de tanqueo en surtidores	Adecuación Toma de Presión Surtidores
25/03/2015	EDS U de M	Correctiva	Sale mensajes raros en el display	Se revisa y no se encuentra nada anormal, el mensaje en el display ya no a
09/03/2015	EDS U de M	Correctiva	Surtidor fuga por pico de llenado	Se reemplaza por otro pico de llenado reparado
03/03/2015	EDS U de M	Correctiva	Surtidor no sube presión al iniciar llenado	Se desbloquea exceso de flujo banco de baja y se corrige mal contacto en suiche de carga

Tabla 21. Fallas Correctivas en compresores y surtidores 2015 en la EDS de la 30

Fecha	Estación	Tipo de Evento	Descripción del Evento	Solución al Evento
25/06/2015	EDS LA 30	Correctiva	Bloqueo procesadora de caudal	Envío de procesadora por garantía al representante
06/07/2015	EDS LA 30	Correctiva	bloqueo de la cara	Se instala el procesador del sensor másico enviado por Global Mech
20/02/2015	EDS LA 30	Correctiva	El motor principal vibra demasiado al intentar arrancar.	Se detecta que los amperímetros del arrancador están enviando información errónea, se desconectan y se queda pendiente para cambio del arrancador.
02/03/2015	EDS LA 30	Correctiva	Falla en el arrancador suave	Cambio del arrancador
04/04/2015	EDS LA 30	Correctiva	Falla en micro suiche	Se arregla cableado micro suiche
16/04/2015	EDS LA 30	Correctiva	Falla en pico de llenado	Cambio de pico de llenado NGV-1
28/07/2015	EDS LA 30	Correctiva	Fuga en Break Away de Venteo	Cambio de Break Away
09/03/2015	EDS LA 30	Correctiva	Manguera no autoriza venta	Se cambia Suiche
11/03/2015	EDS LA 30	Correctiva	Manillar válvula tres vías no actúa	Al revisar se encuentra la válvula funcionando correctamente
28/07/2015	EDS LA 30	Correctiva	Pico de llenado con fuga	Cambio de Pico de llenado
01/08/2015	EDS LA 30	Correctiva	Pico de llenado se queda pegado	Se cambia por un pico reparado
26/04/2015	EDS LA 30	Correctiva	Revisión reporte de ruido extraño en el compresor.	Se revisan las distintas tolerancias en cojinetes de biela y bancada, guía cruceta y cruceta, pasador y buje de biela encontrándolos dentro de los límites, se encuentra electroválvula

				by pass 4 etp en posición manual, se corrige.
20/02/2015	EDS LA 30	Correctiva	Se detecta un golpeteo en el interior del compresor.	Se cambia el cilindro de cuarta etapa, wear band y anillos, el cilindro original posee un desgaste superior a los 2 mm.
03/02/2015	EDS LA 30	Correctiva	Se presentan cobros excesivos en algunos llenados de vehículos	Se cambia tarjeta control y se instalan opto acopladores en los cables de pulsos procesador -cg xxi
02/03/2015	EDS LA 30	Correctiva	Se presentan cobros excesivos en algunos llenados de vehículos	Se cambia tarjeta control, y se instalan opto acopladores
19/02/2015	EDS LA 30	Correctiva	Venteos en el compresor	Se revisan visualmente las válvulas de seguridad, se arranca el equipo y funciona sin novedad, no se pudo determinar la causa.

6.4. IMPLEMENTACIÓN DE PILARES DE MANTENIMIENTO

Se implementó el plan de mantenimiento Basado en Condición. Se tomó como base el monitoreo de las condiciones o estado de los diferentes elementos de los compresores para decidir el momento más oportuno para realizar algunas tareas de mantenimiento. Para lograrlo, fue necesario contar con el apoyo de una empresa especializada en mantenimiento predictivo sub contratada por el contratista de mantenimiento de las EDS's. Se aplicaron también los principios básicos del pilar del TPM Justo a tiempo (Anexo 22). Aprovechando las ventajas competitivas de sus cuatro objetivos esenciales que son:

- Poner en evidencia los problemas fundamentales.
- Eliminar despilfarros.
- Buscar la simplicidad.
- Diseñar sistemas para identificar problemas.

6.5. INDICADORES DE GESTIÓN

El resultado del análisis de los indicadores de gestión es el siguiente:

6.5.1. Disponibilidad:

En la Figura 18 se evidencia la disponibilidad obtenida en cada uno de los equipos desde el inicio de operaciones por parte de EPM.

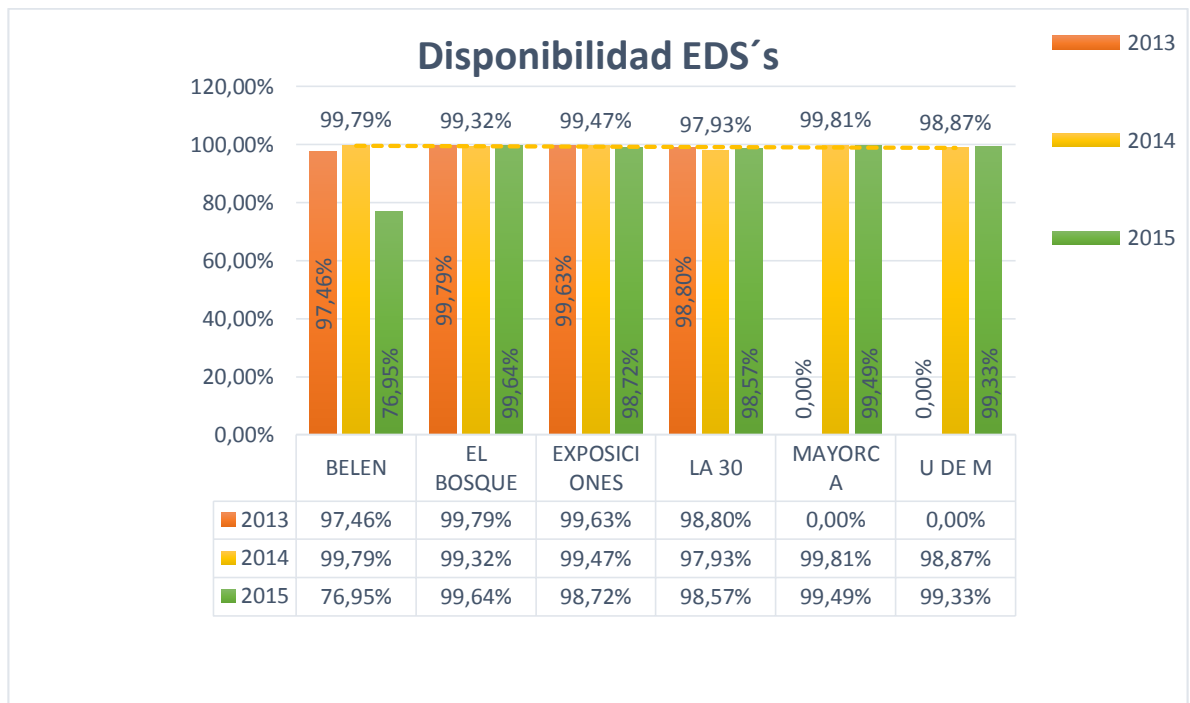


Figura 18. Indicador de Disponibilidad EDS's

Se puede ver claramente que la disponibilidad de las EDS's en cada uno de los periodos ilustrados que se ha mantenido en valores aceptables de trabajo, lo que se refleja en la satisfacción de los clientes.

6.5.2. Índice de atención a órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo se empezaron a generar en el mes de Abril de 2015, con un total de ordenes emitidas hasta el mes de Agosto de 690, de las cuales se han ejecutado 688 con un porcentaje de cumplimiento del 99.71%.

6.5.3. Proporción de costos de mantenimiento preventivo

Los costos del mantenimiento preventivo durante el periodo de operación de las EDS's, se muestran en la Figura 19.

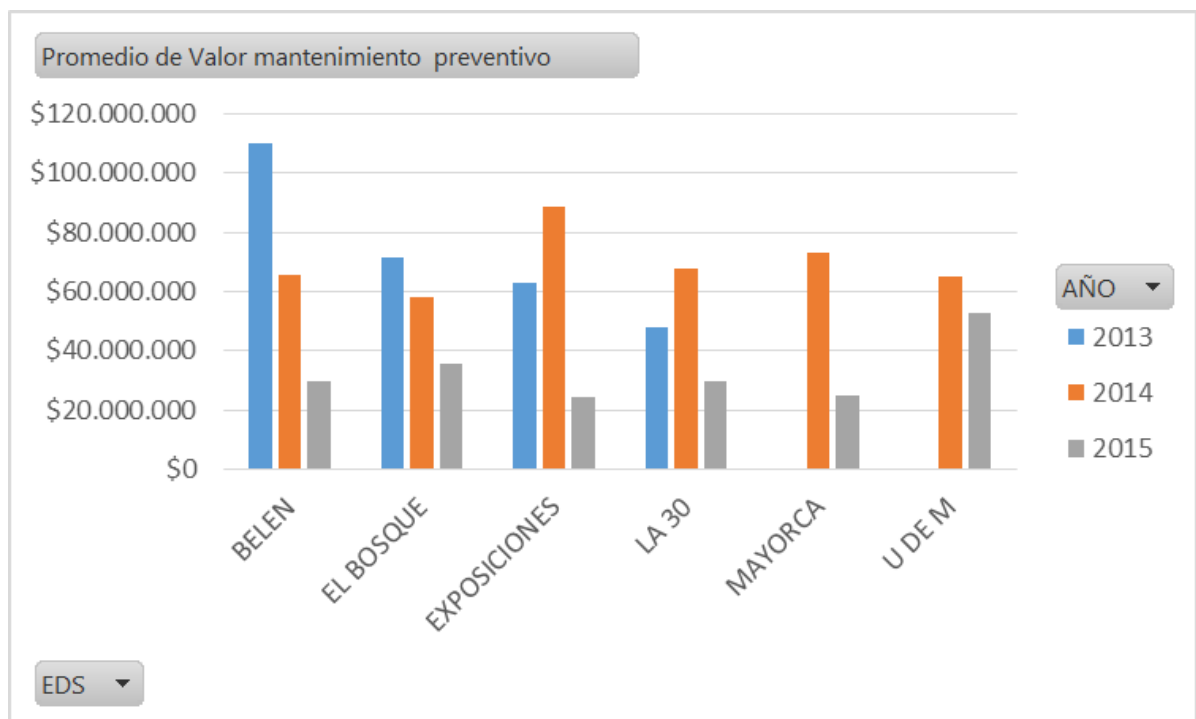


Figura 19. Costo promedio mantenimiento preventivo EDS's
(Autores, 2015)

6.5.4. Proporción de costos mantenimiento correctivo

Se calcularon los costos de los mantenimientos correctivos sobre los costos totales de mantenimiento arrojando los siguientes resultados que se muestran en la Figura 20.

Figura 20

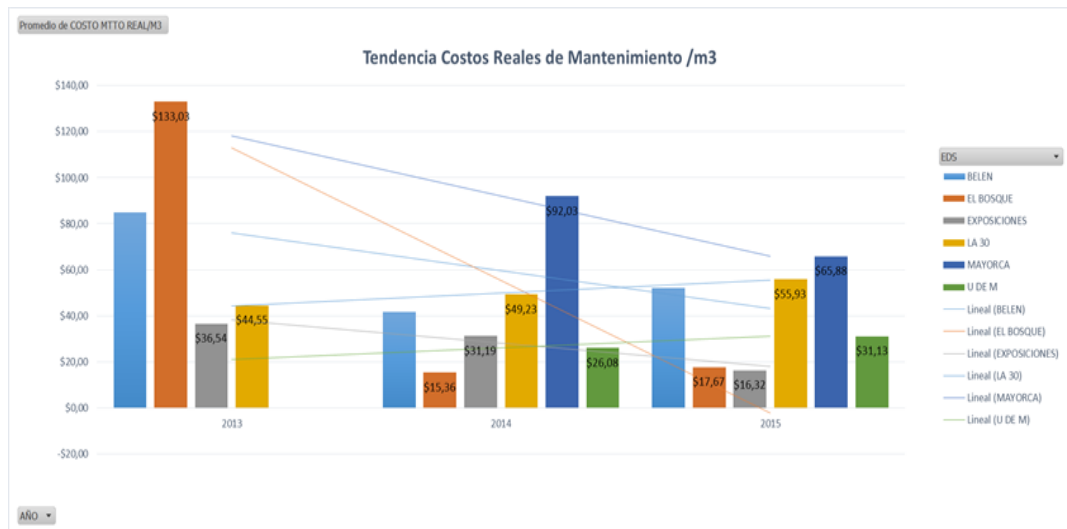


Figura 20 .Tendencia Costos Mantenimiento Correctivo

Se puede observar que con el transcurrir del tiempo los costos del mantenimiento correctivo tienden a la baja, como consecuencia de la implementación del plan de mantenimiento. Pues en 2013 el promedio del costo de mantenimientos correctivos fue de \$74,55/m³. En 2014 el costo de correctivos fue de \$ 42,64/m³ y en 2015 este valor ha sido de \$39,82/m³. El porcentaje de reducción de costos de 2013 a 2015 ha sido del 46,58%.

6.5.5. Tiempo medio de reparación

Se calcularon los tiempos medios de los mantenimientos correctivos con el fin de tener bases sólidas para la ejecución de futuras reparaciones o mantenimientos programables como se observa en la Figura 21.

La gráfica muestra que los tiempos de respuesta a la atención de reparaciones correctivas, tiene una tendencia a la baja. El tiempo promedio de respuesta a los paros no programados disminuyó de 3,72 horas por evento en 2013 a 2,09 horas por evento en 2015. En porcentaje el tiempo de atención a correctivos redujo en un 43% como consecuencia de la implementación del plan de mantenimiento para las EDS's.

La excepción a esta consideración se presenta en la EDS exposiciones, que es la EDS con más altas ventas y por la que más desgaste tiene en sus componentes.

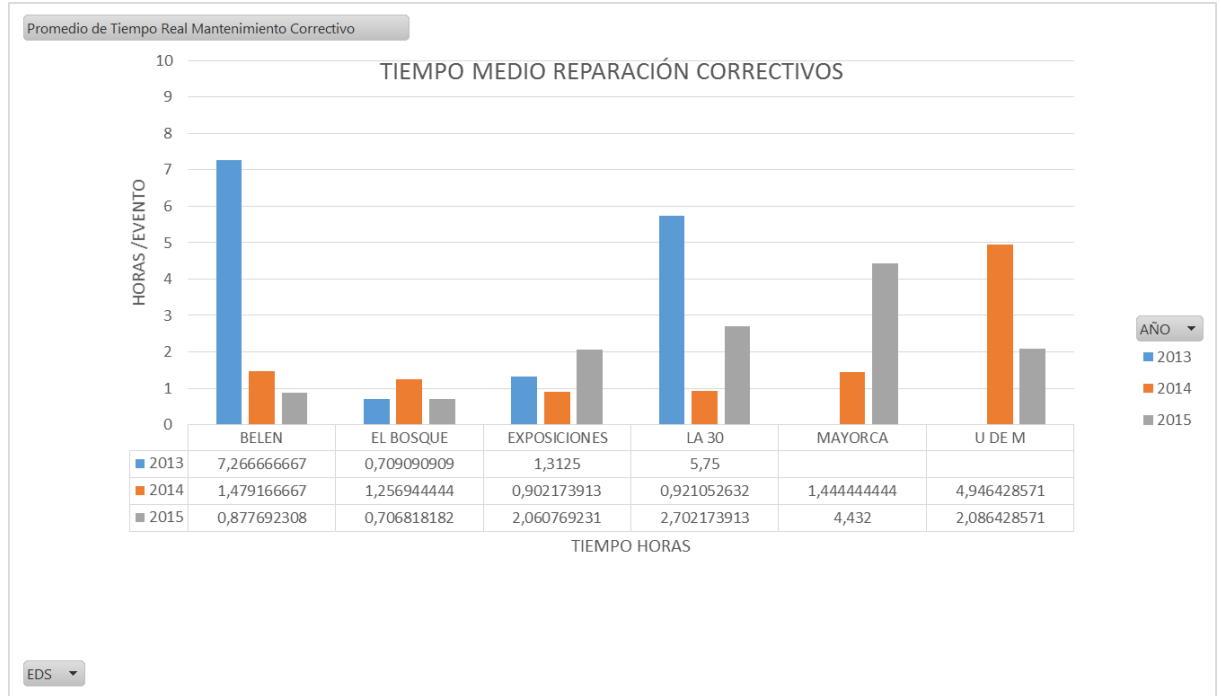


Figura 21. Tiempo medio de reparaciones

6.6. EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS MANTENIMIENTOS POR CONDICIÓN

Después de haber implementado la utilización de repuestos y consumibles con unas mejores especificaciones técnicas que las originales de los equipos en los compresores, surtidores, periféricos de instrumentación y otros, se obtuvo una reducción de un promedio del 4% considerable de paros no programados, manteniendo la disponibilidad de los equipos. Con los resultados obtenidos en los mantenimientos predictivos, se detectaron ventajas operativas que se traducen en fiabilidad. Se está analizando la probabilidad de disminuir la frecuencia de los mantenimientos por condición consiguiendo así reducción de costos. Considerando

los compresores cómo equipos medulares en el negocio de la comercialización del GNV, se ha tomado la decisión de mantener las frecuencias de mantenimientos predictivos previamente establecidas y de esta manera garantizar la disponibilidad de las EDS.

6.7. DEFINICIÓN DEL STOCK DE REPUESTOS

Atendiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, y recogiendo la experiencia adquirida durante dos años y medio (2.5) de operación de las EDS's propiedad de EPM, Se definió un inventario para cada equipo, teniendo en cuenta los mantenimientos correctivos registrados y el resultado de los mantenimientos predictivos.

De En la

Tabla 22 a la Tabla 27, se muestran los listados de repuestos definidos para cada una de las EDS.

Tabla 22. Repuestos Compresor Kwangshin-EDS U de M

REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS COMPRESOR KWANSHIN DE LA EDS UdeM

Nº	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO	CANTIDAD
1	CRANK CASE SIDE COVER GASKET	43013376	2,0
2	BEARING COVER GASKET	43013358	2,0
3	CRANK CASE UPPER COVER GASKET	43013377	2,0
4	CROSS HEAD GUIDE COVER GASKET	43013373	8,0
5	BEARING COVER SIDE FLANGE GASKET	43013371	2,0
6	PACKING GLAND HOUSING GASKET	43013372	2,0
7	CRANK MAIN METAL	18001028	4,0
8	CRANK PIN METAL	18003036	4,0
9	CROSS HEAD MAIN METAL	18004040	8,0
10	CROSS HEAD PIN METAL	18004039	4,0
11	MAIN METAL SHIM PLATE (0.5T)	43020284	24,0
12	MAIN METAL SHIM PLATE (0.2T)	43020285	24,0
13	MAIN METAL SHIM PLATE (0.1T)	43020286	24,0
14	MAIN METAL SHIM PLATE (0.05T)	43020287	24,0
15	CYLINDER HEAD GASKET	43013374	4,0
16	1ST CYLINDER COVER GASKET	43013953	2,0
17	1ST SUCTION VALVE ASSEMBLY (165mm, HIGH) - COZZANI	50082159	2,0
18	1ST DISCHARGE VALVE ASSEMBLY (165mm) - COZZANI	50082458	2,0
19	1ST VALVE SEAT GASKET (165mm)	43006220	4,0
20	1ST VALVE COVER O-RING (165mm)	43009238	4,0
21	2ND SUCTION VALVE ASSEMBLY (110mm)	50200039	2,0
22	2ND DISCHARGE VALVE ASSEMBLY (110mm)	50300039	2,0
23	2ND VALVE SEAT GASKET (110mm)	43006039	4,0
24	2ND VALVE COVER O-RING (110mm)	43009118	4,0
25	3RD SUCTION VALVE ASSEMBLY (88mm)	50200037	2,0
26	3RD DISCHARGE VALVE ASSEMBLY (88mm)	50300037	2,0
27	3RD VALVE SEAT GASKET (88mm)	43006041	4,0
28	3RD VALVE COVER O-RING (88mm)	43009116	8,0
29	3RD VALVE BACK-UP RING (88mm)	43009179	8,0
30	3RD VALVE COVER RING (88mm)	17039036	4,0
31	4TH CONCENTRIC VALVE ASSEMBLY (90mm)	50200043	2,0
32	4TH VALVE O-RING (90mm)	43009139	2,0
33	4TH VALVE SEAT GASKET (90mm)	43006112	2,0
34	4TH VALVE GASKET (DISCHARGE SIDE) (90mm)	43006045	2,0
35	4TH VALVE GASKET (SUCTION SIDE) (90mm)	43006046	2,0
36	1ST PISTON RING	16001376	6,0
37	1ST RIDER RING	17001262	2,0
38	2ND PISTON RING	16001261	6,0
39	2ND PISTON RING (DOUBLE RING)	16001424	4,0
40	3RD PISTON RING	16001272	12,0
41	3RD RIDER RING	17001160	2,0
42	4TH PISTON RING	16018061	16,0
43	4TH RIDER RING	16018062	2,0
44	GLAND PACKING (GEO-BII, GEO-C)	17024041	4,0
45	OIL SCRAPER (GEO-BII, GEO-C)	17024032	4,0
46	PACKING CASE GASKET (GEO-BII, GEO-C)	43013381	4,0
47	PACKING GLAND O-RING (GEO-BII, GEO-C)	43009272	4,0
48	OIL FILTER (SMALL)	38001054	4,0

Tabla 23. Repuestos Compresor Ariel-EDS Belén



REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL COMPRESO
ARIEL DE LA EDS BELEN

Nº	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO	CANTIDAD
1	GSKT,RET, TOP CVR,M:P 1/32	EMPAQUE FRAME	B-0104	1,0
2	GSKT,RET,9-1/2X6-7/16X 1/32	EMPAQUE TAPAS LATERALES	A-0067	2,0
3	DIS VLV 52 RX PK	VALVULA DESCARGA 3 ETP	B-3712-P	1,0
4	SUC VLV 52 RX MT	VALVULA SUCCIÓN 3 ETP	B-4087-BB	1,0
5	CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	VÁVULA CONCÉNTRICA 4 ETP	B-1788-E	1,0
6	DIS VLV 98 RX PK	VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	B-3613-N	4,0
7	SUC VLV 98 RX NY	VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	B-3376-T	4,0
8	DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	VÁLVULA DESCARGA 2 ETP	B-3490-N	1,0
9	SUC VLV 60 RX, THK, MT	VÁLVULA SUCCIÓN 2 ETP	B-3838-BB	1,0
10	DIS VLV 52 RX PK	KIT VALVULA DESCARGA 3 ETP	KB-3712-P	1,0
11	SUC VLV 52 RX MT	KIT VALVULA SUCCIÓN 3 ETP	KB-4087-BB	1,0
12	CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	KIT VÁVULA CONCÉNTRICA 4 ETP	KB-1788-E	1,0
13	DIS VLV 98 RX PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	KB-3613-N	4,0
14	SUC VLV 98 RX NY	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	KB-3376-T	4,0
15	DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 2 ETP	KB-3490-N	1,0
16	SUC VLV 60 RX, THK, MT	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 2 ETP	KB-3838-BB	1,0
17	FF LUB PUMP 1/4 PREMIER	BOMBA PREMIER	A-9477	1,0
18	RUPTURE DISC 7300 PSI BLUE	DISCO RUPTURA	A-3540	1,0
19	RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING	B-2647-K	1,0
20	CHK VLV DOU BALL SOFT SEAT SS	CHECK PUNTOS LUBRICACION	A-3780	1,0
21	PISTON RING 1-3/4 JG,SG,PK,SJ	ANILLOS 4 ETP	A-7038	6,0
22	RIDER RING 3 5/8SG,SJ	ANILLOS 3 ETP	A-11796	4,0
23	WEAR BAND 1-3/4JG,SG,R:J:R	BANDA DE DESGASTE	A-5962	1,0
24	RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING BAJA PRESION	B-2650-K	1,0
25	RIDER RING 8-7/8JG:A:T:J	ANILLOS 1 ETP	A-3427	2,0
26	RIDER RING 4-1/8JG:A	ANILLOS 2 ETP	A-3467	4,0
27	SLEEVE BEARING BZ XHD JG N A Q	BUJES CRUCETA	B-0002	2,0
28	SLEEVE BEARING BZ ROD JG A M P S I	BUJES DE BIELA	B-0003	2,0
29	SLEEVE BRG H/S ROD JG M P S	CASQUETES DE BIELA	B-0023	4,0
30	SLEEVE BRG H/S MAIN JG M P S	CASQUETES DE BANCADA	B-0024	3,0
31	SLEEVE BRG H/S THRUST JG M P S	CASQUETE PRINCIPAL BANCADA	B-0025	1,0
32	SELF LOCK NUT ESNA 3/8-24	TUERCA SEGURIDAD TORNILLO PASADOR	FN0461EA	2,0
33	CROSSHEAD PIN JG A M P I S	PASADOR CRUCETA	A-0060	2,0
34	CHK VLV 1/8MX1/8F,SS,PPT/14 PSI	CHECK	A-3763	1,0
35	FF KENCO PROX SWITCH,TRBN SB	SENSOR DE PROXIMIDAD	A-12814	1,0
36	12S-9T-6S-6T	BLOQUES DIVISORES	A-3254	1,0
37	GSKT RND,12X1/64	EMPAQUES CARTER-CILINDRO	A-0065	2,0
38	PIST/ROD 3.625X1.750SA	PISTON TANDEM 3-4 ETP	C-3591	1,0
39	O-RING VT 3.500OD X .210	ORING TAPA VALVULA CONCENTRICA	A-0013	1,0
40	O-RING VT 3.887OD X .139	ORING CILINDRO ULTIMA ETAPA	A-1812	1,0
41	DUST SEAL TFE JG.A.M.P.N.Q	SELLO O RETENEDOR CIGÜEÑAL	A-0245	1,0

Tabla 24. Repuestos Compresor Ariel-EDS La 30



REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL
COMPRESOR ARIEL DE LA EDS LA 30

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO	CANTIDAD
GSKT,RET, TOP CVR,M:P 1/32	EMPAQUE FRAME	B-0104	1.0
GSKT,RET,9-1/2X6-7/16X 1/32	EMPAQUE TAPAS LATERALES	A-0067	2.0
DIS VLV 52 RX PK	VALVULA DESCARGA 3 ETP	B-3712-P	1.0
SUC VLV 52 RX MT	VALVULA SUCCIÓN 3 ETP	B-4087-BB	1.0
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	VÁVULA CONCÉNTRICA 4 ETP	B-1788-E	1.0
DIS VLV 98 RX PK	VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	B-3613-N	4.0
SUC VLV 98 RX NY	VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	B-3376-T	4.0
DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	VÁLVULA DESCARGA 2 ETP	B-3490-N	1.0
SUC VLV 60 RX, THK, MT	VÁLVULA SUCCIÓN 2 ETP	B-3838-BB	1.0
DIS VLV 52 RX PK	KIT VALVULA DESCARGA 3 ETP	KB-3712-P	1.0
SUC VLV 52 RX MT	KIT VALVULA SUCCIÓN 3 ETP	KB-4087-BB	1.0
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	KIT VÁVULA CONCÉNTRICA 4 ETP	KB-1788-E	1.0
DIS VLV 98 RX PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	KB-3613-N	4.0
SUC VLV 98 RX NY	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	KB-3376-T	4.0
DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 2 ETP	KB-3490-N	1.0
SUC VLV 60 RX, THK, MT	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 2 ETP	KB-3838-BB	1.0
FF LUB PUMP 1/4 PREMIER	BOMBA PREMIER	A-9477	1.0
RUPTURE DISC 7300 PSI BLUE	DISCO RUPTURA	A-3540	1.0
RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING	B-2647-K	1.0
CHK VLV DOU BALL SOFT SEAT SS	CHECK PUNTOS LUBRICACION	A-3780	1.0
PISTON RING 1-3/4 JG,SG,PK,SJ	ANILLOS 4 ETP	A-7038	6.0
RIDER RING 3 5/8SG,SJ	ANILLOS 3 ETP	A-11796	4.0
WEAR BAND 1-3/4JG,SG,R:J:R	BANDA DE DESGASTE	A-5962	1.0
RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING BAJA PRESION	B-2650-K	1.0
RIDER RING 8-7/8JG:A:T:J	ANILLOS 1 ETP	A-3427	2.0
RIDER RING 4-1/8JG:A	ANILLOS 2 ETP	A-3467	4.0
SLEEVE BEARING BZ XHD JG N A Q	BUJES CRUCETA	B-0002	4.0
SLEEVE BEARING BZ ROD JG A M P S I	BUJES DE BIELA	B-0003	2.0
SLEEVE BRG H/S ROD JG M P S	CASQUETES DE BIELA	B-0023	4.0
SLEEVE BRG H/S MAIN JG M P S	CASQUETES DE BANCADA	B-0024	3.0
SLEEVE BRG H/S THRUST JG M P S	CASQUETE PRINCIPAL BANCADA	B-0025	1.0
SELF LOCK NUT ESNA 3/8-24	TUERCA SEGURIDAD TORNILLO PASADOR	FN0461EA	2.0
CROSSHEAD PIN JG A M P I S	PASADOR CRUCETA	A-0060	2.0
CHK VLV 1/8MX1/8F,SS,PPT/14 PSI	CHECK	A-3763	1.0
FF KENCO PROX SWITCH,TRBN SB	SENSOR DE PROXIMIDAD	A-12814	1.0
12S-9T-6S-6T	BLOQUES DIVISORES	A-3254	1.0
GSKT RND,12X1/64	EMPAQUES CARTER-CILINDRO	A-0065	2.0
PIST/ROD 3.625X1.750SA	PISTON TANDEM 3-4 ETP	C-3591	1.0
O-RING VT 3.5000D X .210	ORING TAPA VALVULA CONCENTRICA	A-0013	1.0
O-RING VT 3.8870D X .139	ORING CILINDRO ULTIMA ETAPA	A-1812	1.0
DUST SEAL TFE JG.A.M.P.N.Q	SELLO O RETENEDOR CIGÜEÑAL	A-0245	1.0
OMNI OIL TRAP BODY SS 1/4 NPTF	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8724	1.0
OMNI OIL TRAP STEM SS 1/8 NPT	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8725	1.0
CRANK ASSY FS,N/KEY,A:Q:P/2	CIGÜEÑAL	AD-1972	1.0

Tabla 25. Repuestos Compresor IMW-EDS Exposiciones



**REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO
DEL COMPRESOR IMW DE LA EDS
EXPOSICIONES**

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO
Valvulas de succión 60CRO	51-392718-C	307568
Valvulas descarga	59-393089-C	318402
Kit valvula descarga	59-393089	321702
kit valvula succión	51-392718	320664
Anillos	554909MNA	307725
Rider ring PTFE 4.000OD-0490W-0.25T	83141 MNA	321125-309035
Ring sealing set PTFE/BZR/BU 1125	305	321123
Ring vent ptef 1.125id	321124	321124
Ring wiper Varisel 125ID	RVMV308507	321125-332456
Oring 2-242 V90D	2-240V90-ALPHA	305572
Oring 2-143 V90D	2-143V90-ALPHA	305407
Oring 2-233 V90D	ORING-233	305552
Oring 2-237 V90D	ORING-237	305563
Oring 2-228 V90D	BUNA 70ORIN	305533
Oring V90-153	VITON 90	312021-903153
Gasket	0,25	200847
Valvulas de sucion 37 CRO	52-352348-C	307591
Valvulas descarga 37 CRO	57-352350-C	307888
Kit reparación valvula descarga	52-352348-CA	318996
kit reparación valvula succion	57-352350-CA	318995
Anillos	332-0225-040	321129
Rider ring PTFE 2.250OD-0	170401101	321130
Ring pressure breaker	554087NTQ	321126
Oring 2-224 V90D	VITON 90	305521
Oring 2-229V90D	BUNA 70	305536
Oring 2-226 V90D	BUNA 70	305527
Oring 2-225V90D	VITON 90	305524
Gasket Valve 1 15/16x1	1 15/16x1	200766
Valvulas concentrica	50-393455-C	321028
kit valvula concentrica	50-393455	321698
Anillos 1.750 OD PEEK	332-0175-040	321131
Rider ring 1.750 PEEK	319-0175-040	321132
Oring 2-219 V90D	305505	305505
Gasket 3.135 X 2	3.135 X 2.756 X 0.40IN	201095
Oring N70D	163N-ALPHA	317111
Oring 2-261N70D	BUNA 70	305623
Oring 2-267 N70D	BUNA 70	305634
rodamiento cruceta	B-2420 TIMKEN	309456N
Filtro succion WPF 1MIC	317581	317581
Filtro de descarga	322378	322378
Kit contactos arrancador estrella delta siemens SIRIUS 3RT1064-6	SIRIUS 3RT1064-6	3RT1964
Check de descarga compresor 1/2 NPT 4410C-3	2 WAY 500 FNPT @ 6000 PSI	307014
Cojinetes	3.644x3.5x1.4	306485
Rodamientos cigueñal	6.375x3.375x1.875	308768
Juego Correas IMW 50 - 4000DA-200-3625-3AC	5VX1000	200765
Retenedor Oring 2-244 N70D	DASH	305582
Check BANCO ELECTROVÁLVULAS surtidores	P.P SOLENOID	320229
Kit electroválvulas solenoide surtidor	206033	OBTURADOR GR 206033
Kit check descarga 1/2 NPT	KEPNER 1/2"	324682

Tabla 26. Repuestos Compresor Ariel-EDS Bosque

REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR ARIEL DE LA EDS EL BOSQUE

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO
GSKT,RET, TOP CVR,M:P 1/32	EMPAQUE FRAME	B-0104
GSKT,RET,9-1/2X6-7/16X 1/32	EMPAQUE TAPAS LATERALES	A-0067
DIS VLV 52 RX PK	VALVULA DESCARGA 2 ETP	B-3712-P
SUC VLV 52 RX MT	VALVULA SUCCIÓN 2 ETP	B-4087-BB
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	VÁVULA CONCÉNTRICA 3 ETP	B-1788-E
DIS VLV, 52RX, PK	VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	B-3590-P
SUC VLV, 52RX, NY	VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	B-3374-S
DIS VLV 52 RX PK	KIT VALVULA DESCARGA 2 ETP	KB-3712-P
SUC VLV 52 RX MT	KIT VALVULA SUCCIÓN 2 ETP	KB-4087-BB
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	KIT VÁVULA CONCÉNTRICA 3 ETP	KB-1788-E
DIS VLV, 52RX, PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	KB-3590-P
SUC VLV, 52RX, NY	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	KB-3374-S
FF LUB PUMP 1/4 PREMIER	BOMBA PREMIER	A-9477
RUPTURE DISC 7300 PSI BLUE	DISCO RUPTURA	A-3540
RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING	B-2647-K
CHK VLV DOU BALL SOFT SEAT SS	CHECK PUNTOS LUBRICACION	A-3780
PISTON RING 1-3/4 JG,SG,PK,SJ	ANILLOS 3 ETP	A-7038
RIDER RING 3 5/8SG,SJ	ANILLOS 2 ETP	A-11796
WEAR BAND 1-3/4JG,SG,R:J:R	BANDA DE DESGASTE	A-5962
RIDER RING 3-1/2M:P	ANILLOS 1 ETAPA	A-11964
SLEEVE BEARING BZ XHD JG N A Q	BUJES CRUCETA	B-0002
SLEEVE BEARING BZ ROD JG A M P S I	BUJES DE BIELA	B-0003
SLEEVE BRG H/S ROD JG M P S	CASQUETES DE BIELA	B-0023
SLEEVE BRG H/S MAIN JG M P S	CASQUETES DE BANCADA	B-0024
SLEEVE BRG H/S THRUST JG M P S	CASQUETE PRINCIPAL BANCADA	B-0025
SELF LOCK NUT ESNA 3/8-24	TUERCA SEGURIDAD TORNILLO PASADOR	FN0461EA
CROSSHEAD PIN JG A M P I S	PASADOR CRUCETA	A-0060
CHK VLV 1/8MX1/8F,SS,PPT/14 PSI	CHECK	A-3763
FF KENCO PROX SWITCH,TRBN SB	SENSOR DE PROXIMIDAD	A-12814
GSKT RND,12X1/64	EMPAQUES CARTER-CILINDRO	A-0065
O-RING VT 3.500OD X .210	ORING TAPA VALVULA CONCENTRICA	A-0013
O-RING VT 3.887OD X .139	ORING CILINDRO ULTIMA ETAPA	A-1812
DUST SEAL TFE JG.A.M.P.N.Q	SELLO O RETENEDOR CIGÜEÑAL	A-0245
OMNI OIL TRAP BODY SS 1/4 NPTF	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8724
OMNI OIL TRAP STEM SS 1/8 NPT	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8725
CONN ROD ASY,FS,NF,JG:A:325JGS	BIELA	AD-1043
L O PUMP, M:P:I:JG:A/2 TUTHILL	BOMBA LUBRICACIÓN PRINCIPAL	C-0084
ROLLER CHAIN, 35T X 94, JGM:P	CADENILLA	A-0203
1.750 SG-FS-HE	CILINDRO 3 ETP	D-3687
PIST/ROD 3.000 STK,18,557 LG	PISTON 1 ETP	C-0138
CROSSHEAD	CRUCETA	D-0149

Tabla 27. Repuestos Compresor Ariel-EDS Mayorca

**REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR ARIEL DE LA EDS
MAYORCA**

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	PARTE NUMERO	CANTIDAD
GSKT,RET, TOP CVR,M:P 1/32	EMPAQUE FRAME	B-0104	1,0
GSKT,RET,9-1/2X6-7/16X 1/32	EMPAQUE TAPAS LATERALES	A-0067	2,0
DIS VLV 52 RX PK	VALVULA DESCARGA 2 ETP	B-3712-P	1,0
SUC VLV 52 RX MT	VALVULA SUCCIÓN 2 ETP	B-4087-BB	1,0
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	VÁVULA CONCÉNTRICA 3 ETP	B-1788-E	1,0
DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	B-3490-N	2,0
SUC VLV 60 RX, THK, MT	VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	B-3838-BB	2,0
DIS VLV 52 RX PK	KIT VALVULA DESCARGA 2 ETP	KB-3712-P	1,0
SUC VLV 52 RX MT	KIT VALVULA SUCCIÓN 2 ETP	KB-4087-BB	1,0
CONC VLV 078/035 1-3/4, 1-5/8	KIT VÁVULA CONCÉNTRICA 3 ETP	KB-1788-E	1,0
DIS VLV 60RX, THK GUARD PK	KIT VÁLVULA DESCARGA 1 ETP	KB-3490-N	1,0
SUC VLV 60 RX, THK, MT	KIT VÁLVULA SUCCIÓN 1 ETP	KB-3838-BB	1,0
FF LUB PUMP 3/16 PREMIER	BOMBA PREMIER	A-9476	1,0
RUPTURE DISC 7300 PSI BLUE	DISCO RUPTURA	A-3540	1,0
RBLD KIT PIST ROD PKG 1.125	KIT PACKING	B-2647-K	2,0
CHK VLV DOU BALL SOFT SEAT SS	CHECK PUNTOS LUBRICACION	A-3780	1,0
PISTON RING 1-3/4 JG,SG,PK,SJ	ANILLOS 3 ETP	A-7038	6,0
RIDER RING 3 5/8SG,SJ	ANILLOS 2 ETP	A-11796	4,0
WEAR BAND 1-3/4JG,SG,R:J:R	BANDA DE DESGASTE	A-5962	1,0
RIDER RING 4-1/8JG:A	ANILLOS 1 ETP	A-3467	3,0
SLEEVE BEARING BZ XHD JG N A Q	BUJES CRUCETA	B-0002	4,0
SLEEVE BEARING BZ ROD JG A M P S I	BUJES DE BIELA	B-0003	2,0
SLEEVE BRG H/S ROD JG M P S	CASQUETES DE BIELA	B-0023	4,0
SLEEVE BRG H/S MAIN JG M P S	CASQUETES DE BANCADA	B-0024	3,0
SLEEVE BRG H/S THRUST JG M P S	CASQUETE PRINCIPAL BANCADA	B-0025	1,0
SELF LOCK NUT ESNA 3/8-24	TUERCA SEGURIDAD TORNILLO PASADOR	FN0461EA	2,0
CROSSHEAD PIN JG A M P I S	PASADOR CRUCETA	A-0060	2,0
CHK VLV 1/8MX1/8F,SS,PPT/14 PSI	CHECK	A-3763	1,0
FF KENCO PROX SWITCH,TRBN SB	SENSOR DE PROXIMIDAD	A-12814	1,0
GSKT RND,12X1/64	EMPAQUES CARTER-CILINDRO	A-0065	2,0
PIST/ROD 3.625X1.750SA	PISTON TANDEM 2-3	C-3591	1,0
O-RING VT 3.500OD X .210	ORING TAPA VALVULA CONCENTRICA	A-0013	1,0
O-RING VT 3.887OD X .139	ORING CILINDRO ULTIMA ETAPA	A-1812	1,0
DUST SEAL TFE JG.A.M.P.N.Q	SELLO O RETENEDOR CIGÜEÑAL	A-0245	1,0
OMNI OIL TRAP BODY SS 1/4 NPTF	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8724	1,0
OMNI OIL TRAP STEM SS 1/8 NPT	TRAMPA DE ACEITE LUBRIC PACKING	A-8725	1,0
CRANK ASSY FS,N/KEY,A:Q:P/2	CIGÜEÑAL	AD-1972	1,0
CONN ROD ASY,FS,NF,JG:A:325JGS	BIELA	AD-1043	2,0
L O PUMP, M:P:I:JG:A/2 TUTHILL	BOMBA LUBRICACIÓN PRINCIPAL	C-0084	1,0
ROLLER CHAIN, 35T X 94, JGM:P	CADENILLA	A-0203	1,0
1.750 SG-FS-HE	CILINDRO 3 ETP	D-3687	1,0
PIST/ROD 3.000 STK,18,557 LG	PISTON 1 ETP	C-0138	1,0

7. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un Plan de mantenimiento para los compresores y surtidores de las estaciones de gas natural vehicular propiedad de Empresas Públicas de Medellín.
- Se Implementaron rutinas de mantenimiento teniendo como criterio las recomendaciones de los proveedores y los resultados de los análisis predictivos.
- Se evaluaron los resultados del mantenimiento predictivo y basados en estos se implementaron mejoras locativas y cambios de algunos componentes medulares de los equipos. Estas mejoras se reflejaron en mejor desempeño y mayor fiabilidad en la operación y disponibilidad.
- Después de realizar un seguimiento detallado de la operación de surtidores y compresores, se lograron identificar los problemas más frecuentes en estos equipos, y se tabuló la disponibilidad de los mismos durante su operación.
- Considerando que los compresores y surtidores son equipos medulares para la comercialización del GNV, y que la disponibilidad de estos equipos es de alto impacto tanto en el negocio de EPM, cómo en el servicio a los sistemas de transporte masivo y particular en la ciudad de Medellín, se optó por adoptar el pilar de Justo a tiempo. Una vez analizados los indicadores de gestión, se tomaron medidas el fin de corregir las posibles fallas detectadas y mantener así un nivel adecuado de disponibilidad de las EDS.
- Los periodos de mantenimiento se establecieron de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes
- Se realizó un inventario de repuestos para cada equipo, teniendo en cuenta los resultados los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos.

8. RECOMENDACIONES

- Es indispensable que EPM. siga aplicando todas las actividades de mantenimiento establecidas en el plan de mantenimiento para los equipos, ya que la ejecución de estas actividades periódicas garantizan el buen funcionamiento y disponibilidad de los mismos.
- Utilizar y mantener actualizado el formato de hojas de vida de los equipos, para tener datos históricos de las modificaciones hechas en estos y tener información concreta sobre las fallas presentadas y poder tomar decisiones en las intervenciones que se deben realizar a los equipos.
- Diligenciar siempre las órdenes de servicio por cada falla que se presente en los equipos, ya que de este formato se obtiene información importante para la gestión del mantenimiento.
- Realizar una evaluación general de los proveedores de servicio de mantenimiento y determinar si realmente son competentes al momento de ofrecer sus servicios.
- Mantener actualizados los indicadores de mantenimiento, pues son indispensables para ejercer mejor control de la gestión del mantenimiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín Aguillón, P. R. (2007). *Mantenimiento Predictivo: Análisis de Aceites*. Medellín, Colombia: Universidad Industrial de Santander - Sede Cartagena.
- Amendola, R. (2011). *Diagnóstico de Fallos por Monitoreo de Condición*. Obtenido de <http://confiabilidad.net/articulos/diagnostico-de-fallos-por-monitoreo-de-condicion/>
- Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Obtenido de Elsevier: <https://books.google.com.co/books?id=tAvTO1t2mwkC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=GIRDHAR,+Paresh,+Practical+Machinery+Vibration+Analysis+and+Predictive+Maintenance,+Elsevier,+Oxford,+2004&source=bl&ots=aBtL1Y2MA&sig=N9dEYj3D5OEWIzcXM2wD1iorVtk&hl=es&sa=X&ved=0CCEQ6AE>
- González Bohórquez, C. R. (2007). *Principios de Mantenimiento (Tesis de posgrado en Gerencia de Mantenimiento)*. Cartagena, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- IEC Ingeniería en Mantenimiento. (2013). *Ingeniería en mantenimiento: Informe de análisis*. Bogotá, IEC LTDA.
- ISO 13372. (2004). *Condition monitoring and diagnostics of machines, Vocabulary*. Obtenido de http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=51402&includesc=true&published=on
- ISO 204. (2009). *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*. Obtenido de http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=51402&includesc=true&published=on
- Mecanizados Córdoba. (2015). *Manual de mantenimiento*. Obtenido de http://www.academia.edu/5961832/MANUAL_DE_MANTENIMIENTO_MANUAL_DE_MANTENIMIENTO
- Ministerio de Minas y Energía. (2006). *Resolución 18 0928: Reglamento Técnico aplicable a las Estaciones de Servicio que suministran Gas Natural*

- Comprimido para Uso Vehicular.* Colombia. Obtenido de www.mincit.gov.co/descargar.php?id=73792
- Nasa. (2008). *NASA Reliability-Centered Maintenance Guide for facilities and colateral equipment.* Obtenido de http://fred.hq.nasa.gov/Assets/Docs/2015/NASA_RCMGuide.pdf
- Palacio, Á. (2013). *Total Productive Maintenance T.P.M: Implementando el T.P.M.* Bogotá, Colombia: Autoreseditores.
- Ruiz Acevedo, A. M. (2012). *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo (Monografía de grado).* Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Siame. (2000). *Guía ambiental para la distribución de gas natural comprimido para uso vehicular gnv.* Obtenido de Naturgas: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADa%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/HIDROCARBUROS/Gu%C3%ADa%20de%20Manejo%20Ambienta%20para%20Estaciones%20de%20Servicio%20Ampliadas%20a%20GNV.pdf
- Sinai. (2013). *Tipos de mantenimiento.* Obtenido de http://www.sinai.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/tipos_mantenimiento.html
- Soltecca. (2009). *Fundamentos técnicos de diseño y operación de compresores para GNV.* Obtenido de <http://www.soltecca.com/admin/biblioteca/12/20100413020358.pdf>
- Sotuyo Blanco, S. (2010). *El hombre de mantenimiento.* Obtenido de <http://confiabilidad.net/articulos/el-hombre-de-mantenimiento/>

10. ANEXOS

Anexo 1. Resolución 180928

[ANEXOS\Anexo 1 Resolución 180928 de 2006 del Ministerio de minas y energía.pdf](#)

Anexo 2. Norma Técnica Colombiana NTC 3949.

[ANEXOS\Anexo 2. NTC 3949.pdf](#)

Anexo 3. Norma Técnica Colombiana NTC 4827

[ANEXOS\Anexo 3. NTC 4827.pdf](#)

Anexo 4. Resolución 80582

[ANEXOS\Anexo 4 Resolucion-80582-1996.pdf](#)

Anexo 5. Norma Técnica Colombiana NTC 4823

[ANEXOS\Anexo 5 NTC 4823.pdf](#)

Anexo 6. Norma Técnica Colombiana NTC 5335

[ANEXOS\Anexo 6. NTC5335.pdf](#)

Anexo 7. Norma Técnica Colombiana NTC 5773

[ANEXOS\Anexo 7. NTC 5773.pdf](#)

Anexo 8. Norma Técnica Colombiana NTC 1461

[ANEXOS\Anexo 8. NTC 1461.pdf](#)

Anexo 9. Norma Técnica Colombiana NTC 2050

[ANEXOS\Anexo 9. NTC 2050.pdf](#)

Anexo 10. ASME B31.3 Process Piping Guide

[ANEXOS\Anexo 12. ASME B31.3 Process Piping Guide.pdf](#)

Anexo 11. Análisis de aceite 19 diciembre de 2014

[ANEXOS\Análisis aceite 19 dic 2014.pdf](#)

Anexo 12. Análisis de aceite 15 julio de 2015

[ANEXOS\Análisis de aceite 15 Jul 2015.pdf](#)

Anexo 13. Análisis de aceite EUM - 260315

[ANEXOS\Análisis de aceite EUM análisis de aceite 260315.pdf](#)

Anexo 14.. Análisis de aceite 13 abril de 2015

[ANEXOS\Análisis de aceite-13Abr15.pdf](#)

Anexo 15. Análisis Vibraciones -EEX-150319

[ANEXOS\Análisis Vibraciones -EEX-150319.pdf](#)

Anexo 16. Análisis Vibraciones -EBO-140828

[ANEXOS\Análisis Vibraciones -EBO-140828.pdf](#)

Anexo 17. Análisis Vibraciones EDS Bosque-8Jul13

[ANEXOS\Análisis Vibraciones eds l bosque-8Jul13.pdf](#)

Anexo 18. Análisis Vibraciones EDS Belén-12gos13

[ANEXOS\Análisis Vibraciones eds Belen-12Ago13.pdf](#)

Anexo 19. Análisis Vibraciones -EMA-140208

[ANEXOS\Análisis Vibraciones -EMA-140208.pdf](#)

Anexo 20. Análisis Vibraciones-E30-150224

[ANEXOS\Análisis Vibraciones-E30-150224.pdf](#)

Anexo 21. Inspección Termográfica AZIBosque-07Jul13

[ANEXOS\Inspección Termo gráfica AZIBosque-07Jul13.pdf](#)

Anexo 22. Justo a tiempo (JIT) - Sistema de producción

[ANEXOS\Justo a tiempo \(JIT\).pdf](#)

Anexo 23. Recomendaciones Mantenimiento Compresor Ariel

[ANEXOS\Recomendaciones Mantenimiento Compresor Ariel.pdf](#)

Anexo 24. Recomendaciones Mantenimiento Compresor IMW

[ANEXOS\Recomendaciones Mantenimiento compresor IMW.pdf](#)

Anexo 25. Recomendaciones Mantenimiento compresor KWANGSHIN

[ANEXOS\Recomendaciones Mantenimiento compresor KWANGSHIN.pdf](#)