

**IMPACTO EN MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PARA LA ALTERNATIVA
DE AUTOCONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LAS UNIDADES DE BOMBEO DE
LA PLANTA ORITO, OPERADA Y MANTENIDA POR LA VICEPRESIDENCIA
DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A**

CARLOS JULIO PUENTES VILLAMARIN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**IMPACTO EN MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PARA LA ALTERNATIVA
DE AUTOCONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LAS UNIDADES DE BOMBEO DE
LA PLANTA ORITO, OPERADA Y MANTENIDA POR LA VICEPRESIDENCIA
DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A**

CARLOS JULIO PUENTES VILLAMARIN

**Monografía de grado para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director:

**ANDREA DEL PILAR GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a:

A la ingeniera Andrea del Pilar González por su disposición en la dirección de esta monografía.

A los Ingenieros Diego Efrén Enriquez y Leon Darío Ramírez por plantear las ideas del proyecto.

Al Ingeniero Armando Steves, por hacer viable el proyecto de la planta de proceso y ponerlo en operación.

A ECOPETROL S.A., por el apoyo y el tiempo brindado para la ejecución de la Especialización.

Al cuerpo docente de la Universidad Industrial de Santander por el conocimiento compartido.

A la ingeniera Lynda Pabón por su constante apoyo en la elaboración de este documento.

A todos los compañeros de la especialización.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
2. JUSTIFICACIÓN.....	26
3. OBJETIVOS.....	27
3.1 OBJETIVO GENERAL	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. DESCRIPCIÓN Y RESEÑA DE PLANTA ORITO.....	28
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	30
4.1.1 Unidades Principales	30
4.1.2 Incrementadores de Velocidad.	31
4.1.3 Bombas.....	31
4.1.3.1 Bomba Centrífuga	31
4.1.3.2 Bombas Boosters.....	31
4.1.4 Motores	31
4.1.5 Suministro de energía.....	31
4.1.6 Sistema contra incendio.....	32
5. DESCRIPCIÓN Y RESEÑA PLANTA GUAMUES	33
5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	34
5.1.1 Unidades principales.....	34
5.1.2 Incrementadores de Velocidad	34
5.1.3 Bomba Centrífuga	34
5.1.4 Suministro de energía	35
5.1.5 Sistema contra incendio.....	35

6. CONTEXTO DE REFINACION DEL PETRÓLEO PARA EL AUTOCONSUMO	36
7. INFORMACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL COMBUSTIBLE	41
7.1 IDENTIDAD QUÍMICA	41
7.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS:	43
7.3 LEGISLACIÓN PARA COMBUSTIBLES DIESEL	45
8. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO	47
8.1 CRITERIO DE CONFIABILIDAD	47
8.2 CRITERIO DE DISPONIBILIDAD	47
8.3 CRITERIO DE MANTENIBILIDAD	48
8.4 FILTRACIÓN	48
8.5 ANÁLISIS DE ACEITES	50
9. INVENTARIO DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LAS UNIDADES EXISTENTES	57
10. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	63
11. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO	69
11.1 GENERACIÓN DE AVISOS	69
11.2 ORDENES DE MANTENIMIENTO	70
11.2.1 Orden preventiva planeada	70
11.2.2 Orden correctiva no planeada	70
11.2.3 Orden correctiva planeada	70
11.2.5 Orden emergencias	71
11.3 PROCESO DE LAS ORDENES DE MANTENIMIENTO:	71
11.3.1 Planeación de la orden de mantenimiento	71
11.3.2 Autorización de la orden de mantenimiento	71
11.3.3 Programación de la orden de mantenimiento:	71

11.3.4 Documentación y cierre de las órdenes de mantenimiento ejecutadas	71
11.4 RUTINAS DE MANTENIMIENTO	72
11.4.1 Rutina 840 horas para motores Alco.....	72
11.4.2 Rutina 1680 horas para motores Alco.....	73
11.4.3 Rutina 13440 horas para motores Alco.....	73
11.4.4 Rutina 26880 horas para motores Alco.....	74
12. ANALISIS Y VALIDACIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL.....	76
13. ANÁLISIS EN EL CAMBIO DE LA MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS.....	77
13.1 ANÁLISIS DEL MANTENIMEINTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN	77
13.2 ANÁLISIS DE ACEITE USADO	78
14. PROPUESTA AL MANTENIMIENTO	99
15. CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFIA.....	102
ANEXOS.....	103

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Flujograma para definición de planes de mantenimiento.....	65
Figura 2. Identificación de sistemas, equipos o componentes críticos para ASP ..	66
Figura 3. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2015 vs horas de uso del aceite	82
Figura 4. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2016 vs horas de uso del aceite	82
Figura 5. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2016 vs horas de operación del motor.....	83
Figura 6. Análisis de aceite usado Alco 1 Orito año 2015 – Contenido Metálico – Emisión Atómica	83
Figura 7. Análisis de aceite usado Alco 1 Orito año 2016 – Contenido Metálico – Emisión Atómica	84
Figura 8. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2015 vs horas de uso del aceite	87
Figura 9. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2016 vs horas de uso del aceite	87
Figura 10. Análisis de aceite Alco 2 Orito año 2016 vs horas de operación del motor.....	88
Figura 11. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2015 – Contenido Metálico – Emisión Atómica	88
Figura 12. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2016 – Contenido Metálico – Emisión Atómica	89
Figura 13. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 vs horas de uso del aceite.....	92
Figura 14. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 vs horas de operación del motor	92

Figura 15. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2015 - Contenido Metálico – Emisión Atómica	93
Figura 16. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 - Contenido Metálico – Emisión Atómica	93
Figura 17. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 vs horas de uso del aceite.....	96
Figura 18. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 vs horas de operación del motor	96
Figura 19. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2015 - Contenido Metálico – Emisión Atómica	97
Figura 20. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 - Contenido Metálico – Emisión Atómica	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de los sistemas de transporte del Departamento de Operación y Mantenimiento Sur.....	29
Tabla 2. Identidad química de los aceites combustibles	42
Tabla 3. Análisis de los aceites combustibles	43
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de los aceites combustibles	44
Tabla 5. Resultado de análisis del Fuel Oil Nº 4	45
Tabla 6. Límites recomendados para el aceite	55
Tabla 7. Inventario de los equipos o componentes de la planta Orito con su estado de criticidad.	57
Tabla 8. Inventario de los equipos o componentes de la planta Guamues con su estado de criticidad.	60
Tabla 9. Valoración preliminar de criticidad de equipos de acuerdo a matriz RAM y ASP	67
Tabla 10. Mapa de riesgos de los sistemas de la planta con la estrategia optimizada.....	68
Tabla 11. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Orito periodo 2015	80
Tabla 12. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Orito periodo 2016	81
Tabla 13. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Orito periodo 2015	85
Tabla 14. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Orito periodo 2016	86
Tabla 15. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Guamues periodo 2015	90

Tabla 16. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco
No 1 de planta Guamues periodo 201691

Tabla 17. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco
No 2 de planta Guamues periodo 201594

Tabla 18. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco
No 2 de planta Guamues periodo 201695

LISTA DE ANEXOS*

ANEXO A. ANÁLISIS DEL FUIL OIL No 4

ANEXO B. ANÁLISIS DE ACEITE PARA LOS MOTORES ALCO DE LAS PLANTAS
ORITO Y GUAMUES

* Ver documentos adjuntos en el CD-ROOM

GLOSARIO

API: es la sigla en inglés correspondiente a *American Petroleum Institute*, (Instituto Americano de Petróleo) es una asociación comercial que representa 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución entre otros aspectos, de la industria del petróleo y del gas natural. Entre muchas de sus funciones se encuentra el administrar y certificar los diversos aceites que se comercializan bajo las diferentes marcas como Quaker State, Mobil entre otras.

API: CD: el Instituto Americano del Petróleo API, clasifica a los aceites de acuerdo al tipo de motor en el cual será utilizado, los divide en aceites para motores a gasolina o para diésel y les asigna dos letras: la primera indica el tipo de motor; si es de gasolina, esta es una "S" del inglés spark (chispa), si la letra es una "C" del inglés compression (compresión) el aceite es para un motor a diésel. La segunda letra que forma la pareja indica la calidad del aceite, de tal forma que la siglas CD es para motores turbocargados en servicio a alta velocidad y con cargas pesadas, en donde es necesario el control eficaz del desgaste y evitar la formación de depósitos de baja y alta temperatura.

ASP (Administración de la Seguridad de Procesos): Aplicación de sistemas administrativos y controles (programas, procedimientos, auditorias, evaluaciones) a un proceso químico o de fabricación de manera que se identifiquen riesgos de proceso, se entiendan, y se controlen de manera que las lesiones e incidentes relacionados con el proceso sean prevenidos.

ASTM: es la sigla en inglés correspondiente a *American Society for Testing and Materials* (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), es un organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas

técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial. Las oficinas principales de la organización ASTM internacional están ubicadas en West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos, al noroeste de la ciudad de Filadelfia.

AVISO: los avisos se utilizan para describir condiciones técnicas de un objeto, comunicar necesidades de mantenimiento y documentar los resultados técnicos y las actividades realizadas. Las órdenes y los avisos se pueden utilizar por separado, no obstante, suelen combinarse para aprovechar las ventajas de ambos.

DATOS MAESTROS: los datos maestros son un repositorio central de información (base de datos) compartida por los diferentes módulos de SAP y constituye, la base inicial de la estructura del módulo de mantenimiento.

EJECUCIÓN: secuencia de actividades que permiten garantizar la correcta realización de los trabajos y el registro de la información a través de la orden de mantenimiento para permitir la gestión sobre el proceso, todo esto, enmarcado dentro de los conceptos de calidad total (mínimo desperdicio, regulaciones ambientales, normas de seguridad).

EQUIPO: los equipos, son elementos que pueden ser montados y/o desmontados en una Ubicación Técnica. Una ubicación técnica puede tener uno o más equipos instalados. En general, se entiende equipo como un objeto físico individual sujeto a acciones de mantenimiento de forma independiente.

EMERGENCIA: suceso imprevisto que afecta sensiblemente la producción, genera graves riesgos de seguridad industrial, ecológicos, de salubridad, o afectan la imagen de la empresa y cuya calificación al ser valorada con riesgo muy alto

Falla: Pérdida de la habilidad de un activo para realizar una función requerida. ISO 14224 2006 – 3.15.

FMECA: es la sigla en inglés correspondiente a *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* (Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad), es un análisis de modos y efectos de falla que incluye evaluación de criticidad y análisis de causa raíz del modo de falla. Esta técnica se ha estado posicionando en la industria por estar basada en el riesgo estimado e identificar formas en que un sistema de ingeniería puede fallar, para así, eliminar la causa de falla.

ICP: es la sigla en inglés correspondiente a *Inductively Coupled Plasma* (Plasma Acoplado Inductivamente) es una técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (ng/l – mg/l) además de poder llevar a cabo la determinación de los elementos en un análisis multielemental que provee la composición de la muestra analizada. Puede además llevar a cabo la cuantificación de la composición isotópica y estudios de la estabilidad de isótopos traza 1.

ISO 14224: 2006: proporciona una base completa para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para equipos en todas las instalaciones y operaciones dentro de las industrias de petróleo, gas natural y petroquímica durante el ciclo de vida operacional del equipo. Describe los principios de recolección de datos y los términos y definiciones asociados que constituyen un "lenguaje de confiabilidad" que puede ser útil para comunicar la experiencia operacional. Los modos de fallo definidos en ISO 14224: 2006 pueden usarse como un "tesauro de fiabilidad" para diversas aplicaciones cuantitativas y cualitativas. ISO 14224: 2006 también describe el control de calidad de datos y las prácticas de aseguramiento para proporcionar orientación para el usuario.

MANTENIMIENTO RUTINARIO: proceso encargado de todas las actividades relacionadas con aquellos trabajos que se realizan para la conservación de la capacidad productiva y cuya ejecución se puede realizar con las unidades productivas en operación.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE TRABAJOS: matriz que permite identificar la prioridad de un aviso y ventana de tiempo con que se realizará un trabajo de acuerdo con la criticidad del equipo y el efecto de la falla en el mismo.

MÓDULO MANTENIMIENTO: provee una planeación y el control del mantenimiento de la planta a través de la calendarización, así como las inspecciones, mantenimientos de daños y administración de servicios para asegurar la disponibilidad de los sistemas operacionales, incluyendo plantas y equipos entregados a los clientes.

OBJETO TÉCNICO: forma parte de la estructura que se monta en la base de datos y corresponde a las ubicaciones técnicas, equipos, componentes o materiales, puntos de medida, puestos de trabajo, catálogos, entre otros.

ORDEN DE MANTENIMIENTO: las órdenes se usan para planificar medidas de mantenimiento o planificar trabajos cuyo propósito general es registrar los costos asociados con dichos trabajos. Se pueden crear como órdenes inmediatas sin ninguna planificación, esto sólo aplicaría para órdenes de mantenimiento de emergencia. Deben ser creadas y diligenciadas en el Sistema de Información de Mantenimiento.

OVERHAUL: el overhaul de motores podría ser traducido como una reparación mayor, renovación o reconstrucción del motor (tanto de motores diésel como gasolina), mediante la utilización de overhaul kits, o kits de reparación, kits que incluyen repuestos básicos. Los trabajos de Mantenimiento overhaul en motores

diésel suelen incluir la sustitución de juntas, rodamientos, casquillos, camisas de cilindros, pistones, segmentos, filtros, muelles, etc.

PLANEACIÓN: secuencia de actividades que permiten estimar, presupuestar y autorizar las ordenes correctivas, predictivas y ajenas; definiendo en todos los procedimientos técnicos las precauciones de seguridad y protección al medio ambiente. En éste subproceso se define el qué, cómo y cuánto.

PROGRAMACIÓN: secuencia de actividades que permite la distribución y la optimización de los recursos definidos en la planeación de las ordenes de mantenimiento. En éste subproceso se define el quién y cuándo.

RAM: es la sigla en inglés correspondiente a **Risk Assessment Matrix** (Matriz de Identificación de Peligros y Análisis de Riesgos) Herramienta para la evaluación e identificación de los peligros, con el fin de valorarlos riesgos derivados de estos y determinar medidas de control para establecer y mantener la seguridad y salud de los trabajadores y otras partes interesadas.

RBI: es la sigla en inglés correspondiente a **Risk Based Inspection** (Análisis de Integridad Mecánica), La Inspección basada en Riesgos (RBI) es un proceso que identifica, evalúa y realiza un mapeo de los riesgos industriales (mecanismo de daño), los cuales pueden comprometer la integridad de un equipo o planta de procesos, valiéndose del riesgo que pueden ser controlados a través de inspecciones y análisis apropiados y que sirve como una herramienta para priorizar y organizar los programas de inspección.

RCM: es la sigla en inglés correspondiente a **Reliability Centred Maintenance**, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas, porque reconoce que

el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente. No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de falla, con sus propias intensidades de falla. Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros.

SAE: es la sigla en inglés correspondiente a **Society of Automotive Engineers** (Sociedad de Ingenieros Automotrices) es la organización enfocada en la movilidad de los profesionales en la ingeniería aeroespacial, automoción, y todas las industrias comerciales especializadas en la construcción de los vehículos. El principal objetivo de la sociedad es el desarrollo de los estándares para todos los tipos de vehículos, incluyendo coches, camiones, barcos, aviones, etc.

SAE 40: la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) estableció una clasificación basada únicamente en la viscosidad del aceite, debido a que la viscosidad del aceite es muy importante y se ve afectada por la temperatura calor o frío, por esto es, todo un reto para un lubricante, por un lado la viscosidad en frío a diferentes temperaturas bajo cero y por otro la viscosidad en caliente a 100°C. La clasificación SAE 40 es usada en motores de trabajo pesado y en tiempo de mucho calor (verano).

SAP: es la sigla en alemán correspondiente a **Systeme Anwendungen und Produkte** (Sistemas, Aplicaciones y Productos) | sistema SAP es un sistema informático integrado de gestión empresarial diseñado para modelar y automatizar de manera integrada, "on-line" las diferentes áreas de la empresa y la administración de sus recursos.

TAN: es la sigla en inglés correspondiente a *Total Acid Number* (Índice de acidez), la cantidad de producto básico, expresado en mg KOH/g requeridos para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en 1g de la muestra

TBN: es la sigla en inglés correspondiente a *Total Base Number* (Índice de Basicidad), una importante propiedad química de los lubricantes. El TBN de un lubricante es una medición de su reserva de alcalinidad o de su capacidad para neutralizar ácidos que puedan corroer un motor.

UBICACIÓN TÉCNICA: es una unidad logística organizacional que estructura los objetos mantenibles de una compañía de acuerdo con su proceso funcional. Una ubicación técnica representa el lugar en donde se llevan a cabo las tareas de mantenimiento. Una ubicación técnica puede tener uno o más equipos instalados.

RESUMEN

TITULO: IMPACTO EN MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PARA LA ALTERNATIVA DE AUTOCONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA ORITO, OPERADA Y MANTENIDA POR LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A.*

AUTOR: CARLOS JULIO PUENTES VILLAMARIN**

PALABRAS CLAVES: EVALUACIÓN, AUTOCONSUMO, MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, PREDICTIVO, PROACTIVO.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía se desarrolla para evaluar si se pueden presentar cambios en el mantenimiento de las unidades principales de bombeo de las plantas Orito y Guamues, debido al cambio de combustible de diésel comercial por el generado en la planta de proceso de Orito a partir del producto que se transporta, al cual llamaremos en este análisis combustible de autoconsumo con el propósito de conservar los motores dentro de los estándares operativos, garantizando una operación de evacuación de crudo confiable.

El proyecto se resume en dos etapas, la primera es el modelo de mantenimiento que funciona actualmente, donde las unidades de bombeo son alimentadas por diésel, y en la segunda se optimiza la toma de datos para poder comparar los resultados del mantenimiento cuando se alimentan los motores con el combustible de autoconsumo donde se debe analizar si existe alguna afectación en su mantenibilidad y vida útil, enfocado a realizar las recomendaciones pertinentes para el uso del nuevo combustible.

Otro propósito es realizar las recomendaciones que puedan surgir del presente análisis para que el mantenedor tenga herramientas que le permitan mantener y/o mejorar el modelo de mantenimiento.

Se espera que esta evaluación, genere un impacto positivo en la proyección de la vida útil de los equipos, con disminución de costos de mantenimiento, reduciendo el factor de riesgo operacional.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento Director: Andrea Del Pilar González Rodríguez

ABSTRACT

TITLE: IMPACT ON MAINTENANCE OF THE EQUIPMENT FOR THE FUEL SELF-CONSUMPTION ALTERNATIVE IN THE PUMPING UNITS OF THE ORIGINAL PLANT, OPERATED AND MAINTAINED BY THE VICE-PRESIDENT OF TRANSPORT OF ECOPETROL S.A.*

AUTHOR: CARLOS JULIO PUENTES VILLAMARIN**

KEY WORDS: EVALUATION, SELF-CONSUMPTION, MAINTENANCE, RELIABILITY, MAINTAINABILITY, PROGNOSTICATIVE, PROACTIVE.

DESCRIPTION:

This paper performs to evaluate if there are to display some changes about the maintenance of the principal pumping units of the Orito plant and Guamues plant due to change of the commercial diesel fuel that it is produced in the plant of the Orito process from the product that transports which it is going to be called in this analysis fuel of self-consumption in order to keep engines according to the standard operative and guarantee an operation of the evacuation of reliable crude.

The project briefs in two phases: the first is the model of the maintenance that works currently that the pumping units are operating by diesel; the second optimizes the data collection to compare the maintenance results which it should be to analyze if there is any affectation about the useful life and maintainability, focusing on performing their recommendations to use the new fuel.

Another purpose is to take the recommendations that there will be to arise in the present analyze so that the maintainer has tools that it can keep or enhance the model of the maintenance.

We are waiting for the evaluation causes a positive impact in the projection of the useful life of the equipment with costs reduction of maintenance and the operational risk factor decrease.

* Monograph

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialist in Maintenance Management Director: Andrea Del Pilar González Rodríguez

INTRODUCCIÓN

Siendo ECOPETROL S.A, una empresa productora de petróleo, materia prima para la elaboración de combustibles y contando con motores de combustión interna para el transporte del hidrocarburo, surgió el proyecto de producir un combustible que sirviera para alimentar los motores de las unidades de bombeo para el transporte del producto, a partir del crudo que se transporta, para lo cual personal de producción de la Superintendencia de Operaciones Putumayo, realizó los estudios necesarios y tramites ambientales requeridos para viabilizar la producción del combustible y hoy día se tiene como resultado una unidad de proceso que genera un combustible apto para dar energía a las unidades de bombeo principales de las Plantas Orito y Guamues, del oleoducto Transandino, como también a motores auxiliares de generación de energía y sistemas contraincendios.

Desde la visión de mantenimiento es muy importante generar resultados en la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos, reflejándose en la conservación del activo, surge entonces, una etapa muy importante y es evaluar si al hacer el cambio de combustible para los motores, cambian las condiciones de mantenimiento de equipos y vida útil, especialmente cuando estos eran considerados equipos críticos en las operaciones de bombeo.

Con lo anterior y con la premisa de un posible cambio tan importante, como lo es el cambio de combustible, se puedan generar cambios importantes en la vida de los equipos, confiabilidad y mantenibilidad, se parte inicialmente con la descripción tanto los equipos y componentes como del mantenimiento actual, de la misma manera la inclusión de la criticidad de los equipos e identificar aquellos componentes que se puedan ver afectados directamente por el cambio de combustible, teniendo un especial cuidado en el sistema de inyección y los

resultados de los análisis predictivos sobre la motor, en esta monografía se pretende entregar las herramientas necesarias que indiquen si los cambios en la mantenibilidad de los equipos, son relevantes y si estos lo son, ofrecer la manera de detectarlos, como también orientar al mantenedor y operador en las acciones a tomar.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las plantas Orito y Guamues, están ubicada en el municipio de Orito Putumayo, siendo sistemas de bombeo del oleoducto Transandino hacia Tumaco y Oleoducto Orito Lago Agrio hacia Ecuador para la evacuación de crudos de la Gerencia de Operaciones Putumayo de Ecopetrol y productores aliados. Cuentan con dos (2) unidades principales de bombeo cada una, referencia Alco serie 251 v-16, 4 ciclos con capacidad nominal de 1765 HP a 900 RPM para bombear 50.000 Barriles por día. Estas unidades están diseñadas para una presión de succión de 100 psi y una presión de descarga de 1180 psi para Orito y 1780 psi para Guamues, distribuidas en 8 etapas por unidad.

Para las unidades operadas originalmente con combustible Diésel, se implementó el proyecto de una unidad de proceso para generar combustible a partir del crudo que se transporta, con la caracterización del Fuel Oil No 4, reinyectando el producto residual al oleoducto.

Los cambios proyectados, también pueden generar cambios en la operación y el mantenimiento de las unidades, sumado a que la misma condición puede ser proyectada para las plantas siguientes de Alisales y Páramo

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a las estrategias de evacuación de crudos y apuntando a la disminución de costos, se instaló una unidad de proceso para generar el combustible de las unidades principales de bombeo, equipos considerados inicialmente como críticos de la operación, a partir del crudo que se transporta.

Por ser un nuevo proceso y las características del combustible pueden ser diferentes, el comportamiento de los equipos también puede cambiar en su operación y mantenimiento, de aquí se genera la necesidad de hacer un análisis desde los componentes del nuevo combustible, hasta las implicaciones en la operación de los motores, como también en validar si el mantenimiento que actualmente se ejecuta, aplica o cambia con uso del nuevo combustible.

De la implementación y para no afectar la confiabilidad de los equipos es más que necesario, validar las condiciones de mantenibilidad, tanto del motor en sí, como de los componentes y lubricantes utilizados

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de la mantenibilidad al realizar el cambio de combustible Diésel, por el combustible producido por la unidad de autoconsumo, enfocado a la confiabilidad y disponibilidad de las unidades principales de Planta Orito

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un inventario de equipos y componentes de las unidades existentes.
- Describir el mantenimiento actual.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos y componentes de las unidades
- Identificar el impacto al mantenimiento al implementar la unidad de autoconsumo con respecto al mantenimiento actual
- Realizar recomendaciones al modelo de mantenimiento con la implementación del proceso de autoconsumo.

4. DESCRIPCIÓN Y RESEÑA DE PLANTA ORITO

La planta Orito, se encuentra localizada al sur occidente del Departamento del Putumayo cercana a los Cerros Patascoy; en jurisdicción del Municipio de Orito, Barrio Alameda en la vía a la vereda Siberia. La Planta Orito, se encuentra localizada en el casco urbano del municipio. La topografía del territorio municipal es ondulada.

- Altura: 355 m.s.n.m.
- Clima promedio: 27 ° C
- Precipitaciones: Lluviosidad constante en todo el año.

La economía es netamente extractiva, el principal recurso natural es el petróleo. Aunque posee gran riqueza forestal. Hoy en día se desarrollan interesantes labores de microempresa, cooperativismo, piscicultura, ganadería, cría de lombrices, cultivos de caucho, porcicultura, cultivos hidropónicos, reciclaje de basuras y conservación del medio ambiente.

La Planta Orito (originalmente Estación Uno Orito), fue construida por la TEXAS PETROLEUM COMPANY en el año 1.965 como parte del Oleoducto Transandino del Sistema de bombeo del Crudo producido en el Putumayo. Iniciando operaciones en el año 1.969.

Dada su ubicación de Planta de inicio al Sistema del Oleoducto Transandino, está en disposición de transportar todos los crudos provenientes de los campos de producción de la Superintendencia de Operaciones Orito. Dichas áreas son. Sur, Nororiente, Occidente y área Orito.

La Planta Orito es quien coordina todas las operaciones de bombeo de los diferentes oleoductos, garantizando que la producción del campo no se disminuya o pare por falta de capacidad de almacenamiento.

En la Planta Orito, se llevan a cabo procesos operativos y administrativos, con el objeto de hacer uso racional de los equipos, control los consumos de combustibles y lubricantes consumidos por las máquinas; para ello se aplica el mantenimiento preventivo a los equipos para disminuir paradas por fallas, pérdida de tiempo en el bombeo hacia Tumaco y en cierta forma reducir los costos de operación.

Los sistemas de bombeo que componen la evacuación de crudos del sur se describen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Descripción de los sistemas de transporte del Departamento de Operación y Mantenimiento Sur.

NOMBRE DEL SISTEMA	NOMBRE LÍNEA	DIAM.	INICIO	FINAL	LONG. (KM)
OCHO - Churuyaco - Orito	Churuyaco - Orito	6"	0	18,314	18,314
OMO - Mansoya - Orito	Mansoya - Santa Ana	6"	0	35,000	35,000
OMO - Mansoya - Orito	Santa Ana - Orito	6"	35,000	73,624	38,624
OTA - Orito - Tumaco	Orito- Guamues	14"	0	19,600	19,600
OTA - Orito - Tumaco	Guamues - Alisales	18"	19,600	66,067	46,467
OTA - Orito - Tumaco	Alisales - KM75 (Alisales - El Páramo)	14"	66,067	75,035	8,968
OTA - Orito - Tumaco	KM75 - KM130 (El Páramo - Amarillo)	14"	75,035	130,715	55,680
OTA - Orito - Tumaco	KM130 - KM141 (Amarillo - El Guabo)	10"	130,715	141,343	10,628
OTA - Orito - Tumaco	KM141 - KM193 (El Guabo - Junín)	14"	141,343	193,730	52,387
OTA - Orito - Tumaco	KM193 - KM228 (Junín - Guayacana)	14"	193,730	228,495	34,765
OTA - Orito - Tumaco	KM228 - KM304	14"	228,495	304,874	76,379

NOMBRE DEL SISTEMA	NOMBRE LÍNEA	DIAM.	INICIO	FINAL	LONG. (KM)
	(Guayacana - Tumaco)				
OSO - San Miguel - Orito	San Miguel - Colon	12"	0	10,950	10,950
OSO - San Miguel - Orito	Colon - Orito	12"	10,950	71,500	60,550

Fuente: Fichas técnicas de cada Oleoducto.

La Planta Orito posee tres (3) tanques de almacenamiento operativo con capacidad de almacenamiento de 80.000 barriles cada uno, que recolecta y almacena crudo proveniente de los diferentes campos de producción de: Orito, Sur, Nororiente, Occidente y Cohembí. Estos tanques poseen techo flotante de doble cubierta, equipados con transmisores hidrostáticos de presión, los cuáles indican la altura y el volumen del petróleo en la sala de control.

Además se tiene un (1) tanque de acero para almacenar combustible para las unidades de bombeo con una capacidad de 300 barriles y un (1) tanque de acero de 6000 Barriles de capacidad para almacenar el crudo pesado de 18° API.

Posee un sumidero con bomba colectora de funcionamiento automático.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

Los sistemas principales de la planta Orito se describen de la siguiente manera:

4.1.1 Unidades Principales. La planta cuenta con dos (2) unidades de bombeo, Alco serie 251 V-16, 4 ciclos calibre 9" por juego de 10- ½ con capacidad nominal de 1765 HP a 900 RPM con una capacidad para bombear de 50.000 barriles por día (BPD). Estas unidades están diseñadas para una presión de succión de 100 psi

y una presión de descarga de 1180 psi distribuidas en 8 etapas por unidad. Sentido de rotación a la inversa cuando está frente al volante del motor. Enfriando por medio de termo-permutador auxiliar de crudo.

4.1.2 Incrementadores de Velocidad. Modelo N2112H, relación 3.983 a 1, estimado a 1765 HP con velocidad de entrada de 900 RPM. Lubricación a presión por medio de bomba giratoria conectada al eje de baja velocidad y enfriada mediante termo permutador auxiliar.

4.1.3 Bombas

4.1.3.1 Bomba Centrifuga: United Centrifugal MSN-H, 4 x 11, de 8 etapas con estuche horizontal dividido. Diámetro de impulsores 10-13/16". Las bridas de succión y descarga son ASA 900# de 6", de superficie levantada. Diseñadas para 50.000 BPS (1460 GPM) a 3.700 pies de la cabeza a 3585 RPM y con una tasa de eficiencia del 78%.

4.1.3.2 Bombas Boosters: Se tienen dos unidades de Boosters de las cuales funcionan una en disponible y la otra en stand-by. Son Marca Bingham 8 x10 x 16 - ½ CVIC, etapa sencilla, vertical, con capacidad de 2920 GPM a 90 pies del cabezal. La bomba está equipada con un cierre mecánico Jhon Crane 9 BMOP191.

4.1.4 Motores. Westinghouse de 75 HP, estructura 444 UPY, 400 voltios, 3 fases, 60 ciclos, funcionan a 1200 RPM.

4.1.5 Suministro de energía. En condiciones normales la Planta Orito cuenta con un sistema de suministro de energía a través de la red de interconexión eléctrica nacional. Cuando el fluido eléctrico es suspendido por daño en la infraestructura eléctrica de la región, se activa automáticamente la generación propia que está ubicada en el campamento de la Gerencia de Operaciones Putumayo.

4.1.6 Sistema contra incendio. Se disponen de dos (2) unidades Contra incendio con motor diésel, las cuales operan automáticamente. La Planta Orito cuenta con un tanque con capacidad de almacenamiento de agua contra incendios de 5.000 bls, adicionalmente posee un lago contra incendio que permite abastecer al tanque con una bomba diésel de un caudal de 1.800 barriles por hora (bph).

5. DESCRIPCIÓN Y RESEÑA PLANTA GUAMUES

La Planta Guamues, se encuentra localizada al sur occidente del Departamento del Putumayo cercana a la unión de los ríos Guamues y Rio Sucio; en jurisdicción del Municipio de Orito, Vereda el Líbano a 20 kilómetros de la Planta Orito.

- Altura: 733 m.s.n.m.
- Clima promedio: 18 ° C
- Precipitaciones: Lluviosidad constante en todo el año.
- No. Habitantes Zona Rural: 20.000
- No. Habitantes Zona Urbana: 12.000
- Total 32.000

La Planta Guamues (originalmente Estación Dos Guamues), fue construida por la TEXAS PETROLEUM COMPANY en el año 1.965 como parte del Oleoducto Transandino del Sistema de bombeo del crudo producido en el Putumayo. Al igual que planta Orito Inició operaciones en el año 1.969

En el año 2002 se cambió el sistema de monitoreo y control operacional que era electro neumático, paso al sistema Delta V, el cual es totalmente digital, el cual nos ofrece mayor confiabilidad en los parámetros de operación y además se tienen mejores y más señales de campo para una óptima operación.

En el año 2003 se construyó el sistema contra incendio para toda la planta, la cual ofrece mayor cubrimiento a cualquier evento de emergencia, este sistema consta de tres bombas diésel y una accionada por motor eléctrico que están calculadas para atacar un incendio en cualquier evento que se presente y adicionalmente tenemos un sistema de espuma que complementa al sistema de agua y es activado por la presión del agua, sistema de vejiga.

En el año 2005 se actualizó y se efectuó el mantenimiento preventivo del sistema Delta V, para monitoreo y control automático de todas las variables operacionales garantizando mantener una corriente uniforme en la tubería principal o controlar la presión de descarga en el sistema. Se remodeló la sala de control de operaciones, se realizó el montaje del centro de control de motores ubicados en la sala de control y además se reubico los generadores, construyendo una caseta separada de la sala de control para eliminar el ruido y la vibración.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Los sistemas principales de la planta Guamues se describen de la siguiente manera:

5.1.1 Unidades principales: La planta cuenta con dos (2) unidades de bombeo, Alco serie 251 v-16, 4 ciclos calibre 9" por juego de 10 - ½ con capacidad nominal de 1765 HP a 900 RPM con una capacidad para bombear de 50.000 BPD. Estas unidades están diseñadas para una presión de succión de 100 psi y una presión de descarga de 1780 psi distribuidas en 8 etapas por unidad. Sentido de rotación a la inversa cuando está frente al volante del motor. Enfriando por medio de termo-permutador auxiliar de crudo.

5.1.2 Incrementadores de Velocidad: Modelo N2112H, relación 3.983 a 1, estimado a 1765 HP con velocidad de entrada de 900 RPM. Lubricación a presión por medio de bomba giratoria conectada al eje de baja velocidad y enfriada mediante termo permutador auxiliar.

5.1.3 Bomba Centrifuga: United Centrifugal MSN-H, 4 x 11, de 8 etapas con estuche horizontal dividido. Diámetro de impulsores 10-13/16". Las bridas de succión y descarga son ASA 900# de 6", de superficie levantada. Diseñadas para

1460 GPM a 3.700 pies de la cabeza a 3585 RPM y con una rata de eficiencia del 78%.

5.1.4 Suministro de energía: La Planta Guamues cuenta con un sistema de generación de energía propio a través de dos generadores movidos por motores diésel, los que garantizan el fluido constante de energía para la planta.

5.1.5 Sistema contra incendio: Se disponen de tres (3) unidades Contra incendio, dos con motor diésel y una con motor eléctrico, las cuales operan automáticamente. La Planta Guamues cuenta con una piscina con capacidad de almacenamiento de agua de 6.500 bls. Adicionalmente se tiene un sistema de espuma que complementa al sistema de agua y es activado por la presión del agua, sistema de vejiga.

6. CONTEXTO DE REFINACION DEL PETRÓLEO PARA EL AUTOCONSUMO

La primera etapa de refinación es la destilación atmosférica o topping. Se realiza en una torre llamada columna de fraccionamiento, donde la cabeza tiene una presión ligeramente superior a la atmosférica. De ella se sacan 4 extracciones, cuyo "corte" viene determinado por un rango de temperaturas, y una salida de gases por cabeza.

Por lo general, suelen ser:

- 4ª Extracción: Gasóleos muy pesados
- 3ª Extracción: Gasóleos comunes.
- 2ª Extracción: Keroxenos.
- 1ª Extracción: Naftas pesadas + Naftas ligeras. - Gases de cabeza: Butano, propano y otros gases más ligeros.

En el fondo de la torre queda un residuo del crudo que no destila, al que comúnmente se le llama "residuo atmosférico" o "crudo reducido". La cantidad de este residuo depende mucho del tipo de crudo con el que se alimenta a la torre, aunque suele estar alrededor de un 45%. Con este dato, podemos determinar que si el proceso de refinación se quedase en este punto, el rendimiento de la refinación sería muy bajo, ya que este residuo sólo se puede aprovechar para hacer asfaltos y algunos lubricantes (productos de bajo coste/tonelada).

Por tanto, la mayor parte las refinerías procesan este residuo mediante otras etapas posteriores y tratamientos. Los cuales para nuestro proceso de autoconsumo, no es necesario indagar.

La destilación, comúnmente llamada columna de destilación, donde debido a la diferencias de volatilidades comprendidas entre los diversos compuestos

hidrocarbonados va separándose a medida que se desplaza a través de la torre hacia la parte superior o inferior. El grado de separación de los componentes del petróleo está estrechamente ligado al punto de ebullición de cada compuesto.

La temperatura dentro de la torre de fraccionamiento queda progresivamente graduada desde 350°C, en el punto de entrada de la carga, hasta menos de 100°C en su cabeza. La entrada continua de crudo caliente genera una gama de platos con distinta temperatura y desde donde se extraen diversas fracciones a distintas alturas. Estas fracciones reciben nombres genéricos y responden a características bien definidas, pero su proporción relativa depende de la calidad del crudo destilado, de las dimensiones de la torre de fraccionamiento y de las presiones, caudales y temperaturas de operación.

En la parte alta de la torre están los livianos (naftas) y hacia abajo van saliendo los pesados (gas oil-fuel oil). De la cabeza de las torres emergen gases que sirven de carga a las petroquímicas para obtener nuevos productos o pueden ser usados como combustible.

Las fracciones líquidas son, del tope hacia el fondo, es decir, de menor a mayor temperatura de destilación:

- 1 Gas licuado. Esta fracción tiene baja temperatura de destilación: menor de 40°C. Está compuesta por hidrocarburos de 1 a 5 átomos de carbono.
- 2 Naftas. Estas fracciones son muy livianas (densidad= 0,75 g/ml) y de temperatura de destilación de 40°C a 175°C. Están compuestas por hidrocarburos de 6 a 10 átomos de carbono.
- 3 Kerosenes (incluyen al JP1, el combustible para aviación) destilan entre 175°C y 230°C, siendo de densidad mediana (0,8 g/ml). Sus componentes son hidrocarburos de 11 y 12 átomos de carbono.

- 4 Gas oil liviano. El gas oil es un líquido de densidad 0,85 g/ml y aceitoso, que destila entre 180°C y 230°C. Sus componentes son hidrocarburos de 13 y 17 átomos de carbono.
- 5 Gas oil pesado. Es un líquido denso (0,9 g/ml) que destila entre 305°C y 405°C. Sus hidrocarburos poseen de 18 a 25 átomos de carbono.
- 6 Crudo reducido. Es el producto de fondo de la torre, viscoso, que destila a más de 405°C y tiene más 25 átomos de carbono.

Estos productos obtenidos se tratan para conseguir productos comerciales en la forma siguiente:

- Los gases ligeros (metano y etano) se endulzan para eliminar el ácido sulfhídrico y se aprovechan como combustible.
- El GLP se separa en propano y butano que son envasados a presión o usados como materia prima para producir etileno y propileno y combustible para automóviles.
- Las naftas se tratan en las unidades de reformado catalítico para mejorar sus cualidades y se mezclan para obtener gasolinas comerciales. La fracción ligera de la nafta también se procesa en unidades de isomerización para mejorar su índice de octano; asimismo puede ser usada para producir etileno y propileno.
- El keroseno es tratado para cumplir las especificaciones de combustible para aviación o para usarse en la formulación del diésel de automoción.
- El gasóleo se lleva a las unidades de hidrodesulfuración, donde se reduce su contenido en azufre, tras lo cual se usa para formular diésel de automoción o gasóleo de calefacción.

- El gasoil de vacío no es un producto final. Se lleva a las unidades de FCC (cracking catalítico fluidizado) donde a elevada temperatura y con presencia de un catalizador en polvo sus largas moléculas se rompen y se transforman en componentes más ligeros como GLP, naftas o gasóleos.

El gasoil de vacío también puede convertirse en las unidades de hidrocraqueo, donde a unos 400-440 °C y alta presión, en presencia de catalizadores apropiados, se transforma también en GLP, naftas o gasóleos libres de azufre. Estas unidades producen un gasóleo de mejor calidad (con mejor índice de octano) que las unidades de FCC.

- El residuo de vacío se puede utilizar como asfalto o bien someterlo a altísimas temperaturas en las unidades de coque en las que se producen componentes más ligeros y carbón de coque que puede calcinarse para formar carbón verde. Este residuo de vacío también puede ser usado para fabricar fuelóleo, bien directamente o previa su conversión térmica en unidades de viscorreducción.
- En todas las refinerías se produce también azufre sólido, como subproducto, debido a las limitaciones impuestas a la emisión del dióxido de azufre a la atmósfera.

La unidad de proceso del proyecto para el autoconsumo de combustible de los motores Alco de las plantas Orito y Guamues es una unidad de destilación fraccionada de petróleo y después de haber extraído las fracciones de gases, bencinas, gasolina y queroseno comienza a destilar la fracción correspondiente al combustible de autoconsumo.

Esta fracción está constituida principalmente por hidrocarburos muy poco volátiles de carácter ligeramente aceitoso que se usa como combustible para los motores

diésel. El producto que se extrae es un Fuel Oil No 4, de similares características al Fuel Oil No 2 (diésel o ACPM)

7. INFORMACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL COMBUSTIBLE

7.1 IDENTIDAD QUÍMICA

Información sobre la identidad química del fuel-oil se encuentra en la tabla 2; la información sobre la composición del seleccionado fuel-oil, específicamente fuel-oil N°2 y queroseno, se presenta en la tabla 3.

Todo de los fuel-oil clases discutidas en este perfil son refinados de petróleo crudo y pueden catalogarse como un combustible destilado o un combustible residual dependiendo del método de producción. Fuel oil N° 1 y N° 2 son los combustibles destilados que consisten en flujos de proceso destilados.

Aceites combustibles residuales tales como fuel-oil N° 4 son los residuos que quedan después de la destilación o agrietarse o mezclas de estos residuos con destilados (IARC 1989). Los combustibles diésel son aproximadamente similares a aceites de combustible utilizados para la calefacción (fuel-oil N° 1, N° 2 y N° 4).

Todos los aceites de combustible consisten en mezclas complejas de hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Los alcanos alifáticos (parafinas) y cicloalcanos (naftenos) están saturados de hidrógeno y componen aproximadamente 80-90% de los aceites de combustible.

Los compuestos aromáticos (por ejemplo, benceno) y olefinas (por ejemplo, estireno e indeno) componen 10-20% y 1%, respectivamente, de los aceites de combustible. Aceite combustible N° 1 (keroseno straightrun) es un destilado ligero que consta principalmente de hidrocarburos en el C9 — C16 gama; Fuel-oil N° 2 es un destilado pesado, generalmente mezclado, con hidrocarburos en el rango C11-C20.

Todos los aceites combustibles arriba contienen menos del 5% los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Combustible N° 4 (combustible diésel marino) es menos volátil que el combustible diésel N° 2 y puede contener secuencias de proceso residual hasta 15%, además de más de 5% de hidrocarburos aromáticos policíclicos (IARC 1989). Aceites combustibles residuales son generalmente más complejos en la composición y las impurezas que aceites de combustible destilado; por lo tanto, no puede ser una composición específica determinada.

El contenido de azufre en los aceites de combustible residuales se ha divulgado para ser de 0,18% a 4,36% por peso

Tabla 2. Identidad química de los aceites combustibles

Characteristic	Fuel oil no. 1	Fuel oil no. 1-D	Fuel oil no. 2	Fuel oil no. 2-D	Fuel oil no. 4	Fuel oil UNSP
Synonym(s)	Kerosene; coal oil; kerosine; range oil; straight run kerosene; distillate fuel oils, light; furnace oil no. 1; Deobase®; JP-5; JP-1; range oil ^{a,b,c}	Diesel fuel; diesel fuel oil no. 1; diesel oil no. 1; no. 1 diesel; diesel oil (light); Arctic diesel ^{d,e}	API no. 2 fuel oil; gas oil; home heating oil no. 2; number 2 burner oil; diesel fuel; furnace oil no. 2 ^b	Diesel fuel; diesel fuel oil no. 2; diesel oil no. 2; no. 2 diesel; diesel oil (medium) ^{d,e}	Oil, fuel, no. 4; residual fuel oil no. 4; no. 4 fuel oil; residual fuel oil; marine boiler fuel; marine diesel fuel; diesel fuel no. 4; grade 4 ^{d,e}	No data
Registered trade name(s)	Deobase® ^c	No data	No data	No data	No data	No data
Chemical formula ^f	No data	No data	No data	No data	No data	No data
Chemical structure ^f	No data	No data	No data	No data	No data	No data
Identification numbers:						
CAS registry	8008-20-6 ^g /70892-10-3 ^g	No data	68476-30-2 ^d	68476-34-6 ^d	68476-31-3 ^b	No data
NIOSH RTECS	OA5500000 ^g	No data	HZ1800000 ^d	No data	No data	LS8950000 ^d
EPA hazardous waste	No data	No data	No data	No data	No data	No data
OHM/TADS	7217063 ^e	No data	No data	No data	7217065 ^e	No data
DOT/UN/NA/IMCO shipping	UN 1223; IMO 3.3 ^e	No data	No data	No data	No data	No data
HSDB	632 ^e	No data	No data	No data	No data	No data
NCI	No data	No data	C54795 ^d	No data	No data	No data

^aIARC 1989

^bRTECS 1991

^cHSDB 1991

^dAir Force 1989

^eOHM/TADS 1985

^fFuel oils are mixtures of various hydrocarbons designed to meet specifications set forth by the American Society for Testing and Materials (IARC 1989); therefore, chemical structure, chemical formula, and molecular weight cannot be determined.

^gSax and Lewis 1989

CAS = Chemical Abstracts Services; DOT/UN/NA/IMCO = Department of Transportation/United Nations/North America/International Maritime Dangerous Goods Code; EPA = Environmental Protection Agency; HSDB = Hazardous Substances Data Bank; NCI = National Cancer Institute; NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health; OHM/TADS = Oil and Hazardous Materials/Technical Assistance Data System; RTECS = Registry of Toxic Effects of Chemical Substances

Fuente: ATSDR 3. Chemical and physical information [en línea] disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75-c3.pdf>

Tabla 3. Análisis de los aceites combustibles

HYDROCARBON TYPE	VOLUMEN %	
	FUEL OIL Nº 1	FUEL OIL Nº 2
Paraffins (<i>n</i> - and iso-)	52.4	41.3
Monocycloparaffins	21.3	22.1
Bicycloparaffins	5.1	9.6
Tricycloparaffins	0.8	2.3
Total saturated hydrocarbons	79.7	75.3
Olefins	No data	No data
Alkylbenzenes	13.5	5.9
Indans/tetralins	3.3	4.1
Dinaphthenobenzenes/indenenes	0.9	1.8
Naphthalenes	2.8	8.2
Biphenyls/acenaphthenes	0.4	2.6
Fluorenes/acenaphthylenes	No data	1.4
Phenanthrenes	No data	0.7
Total aromatic hydrocarbons	23.6	24.7

Fuente: ATSDR 3. Chemical and physical information [en línea] disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75-c3.pdf>

7.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS:

La información sobre las propiedades físicas y químicas de los aceites combustibles se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de los aceites combustibles

Characteristic	Fuel oil no. 1	Fuel oil no. 1-D	Fuel oil no. 2	Fuel oil no. 2-D	Fuel oil no. 4	Fuel oil no. UNSP
Molecular weight	No data	No data	No data	No data	No data	No data
Color	Pale yellow ^b ; Colorless to brown ^{c,d}	Colorless to brown ^c	Colorless to brown ^c	Colorless to brown ^c	Colorless to brown ^c	Colorless to brown ^c
Physical state	Liquid ^d	Liquid ^d	Liquid ^d	Liquid ^d	Liquid ^d	Liquid ^d
Melting point	-45.6°C ^d	-34°C ^d	-29°C ^d	18°C ^d	-29°C to -9°C ^d ; -46°C ^e	-48°C-18°C ^e
Boiling point	175-325°C ^b ; 200-260°C ^d	193-293°C ^d	160-360°C ^f 282-338°C ^d	282-338°C ^d	101-588°C ^d	151->588°C ^e
Density:						
At 15°C	0.810-0.9360 g/mL ^e	0.810-0.9360 g/mL ^e	No data	No data	0.810-0.9360 g/mL ^e	No data
At 20°C	0.80 g/mL ^{e,f}	No data	0.8700-0.9500 ^f	0.8700-0.9500 g/mL ^e	1 g/mL ^e	No data
Odor	Kerosene-like ^e	Kerosene-like ^e	Kerosene-like ^e	Kerosene-like ^e	Kerosene-like ^e	Kerosene-like ^e
Odor threshold (ppm)	0.082 ^g ; 1 ^d	0.7 ^d	No data	No data	0.5 ^e	No data
Solubility						
Water at 20°C	=5 mg/L ^e	=5 mg/L ^e	=5 mg/L ^e	=5 mg/L ^e	=5 mg/L ^e	=5 mg/L ^e
Organic solvent(s)	Miscible with other petroleum solvents ^b	No data	No data	No data	No data	No data
Partition coefficients:						
Log K _{ow}	3.3-7.06 ^e	3.3-7.06 ^e	3.3-7.06 ^e	3.3-7.06 ^e	3.3-7.06 ^e	3.3-7.06 ^e
Log K _{oc}	3.0-6.7 ^e	3.0-6.7 ^e	3.0-5.7 ^e	3.0-6.7 ^e	3.0-6.7 ^e	3.0-6.7 ^e
Vapor pressure at 21°C	2.12-26.4 mmHg ^e	2.12-26.4 mmHg ^e	2.12-26.4 mmHg ^e	2.12-26.4 mmHg ^e	2.12-26.4 mmHg ^e	2.12-26.4 mmHg ^e
Henry's law constant at 20°C - atm-m ³ /mol	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e	5.9 x 10 ⁻⁵ -7.4 ^e
Autoignition temperature	229°C ^d	177.0-329.0°C ^d	257°C ^d	254-285°C ^d	263°C ^d	No data
Flashpoint (close cup)	38°C ^{d,f}	38°C ^{d,f}	58°C ^d	52°C ^{d,f}	55°C ^e ; >54°C ^d	No data
Flammability limits (% volume in air)	0.7%-5% ^d	1.3-6.0% ^d	0.6-7.5% ^d	1.3-6.0% ^d	1.0-5.0% ^d	No data
Conversion factors	No data	No data	No data	No data	No data	No data
Explosive limits	0.7%-5% ^b	No data	No data	No data	No data	No data

^aValues listed are specifications required or general characteristics of each class of fuel oils.

^bHSDB 1991

^cAir Force 1989

^dOHM/TADs 1985

^eCoast Guard 1985

^fIARC 1989

Fuente: ATSDR 3. Chemical and physical information [en línea] disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75-c3.pdf>

Los resultados del Análisis del Fuel Oil N° 4 tomados el 20 de Agosto están registrados en un formato interno de Ecopetrol, el cual se encuentra en el Anexo 1 y su contenido en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resultado de análisis del Fuel Oil N° 4

ANÁLISIS	METODO	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	
				VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Contenido de azufre	ASTM D 4294-(10)	%	0,36671		0,1
Color	ASTM D 1500-(12)	N/A	0,9	.....	3
Corrosión Lámina de Cobre (3H a 50°C)	ASTM D 130-(12)	N/A	1A	.....	2 ³
Destilación Atmosférica D 86	ASTM D 86-(12)	prm			
PIE			377,6	Reportar	
10%vol.Recobrado		°F	487,4	.....	.....
50%vol.Recobrado		°F	566,4	.....	.....
95%vol.Recobrado		°F	706,6	.....	680
PFE		°F	733,1	.....	734
Residuo		ml	1	Reportar	
Gravedad API	ASTM D 1298 - (12b)	API	34,2	Reportar	
Índice de Cetano	ASTM D 4737 - (10)	Cetano	53,87	45	.....
Punto de Inflamación	ASTM D 93 - (15)	°F	172	125	.....
Contenido de agua y Sedimentos	ASTM D 4377 - (11)	% Volumen	0,0052	Reportar	

Fuente: Formato Visto Bueno Fuel Oil # 4 de la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Putumayo. Agosto 20 de 2016.

7.3 LEGISLACIÓN PARA COMBUSTIBLES DIESEL

Ley 1205 de 2008, Artículo 1º, PARÁGRAFO 1º, Para tal efecto los ministerios de minas y energía y de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial o cualquier entidad que los reemplace en las funciones referentes a la calidad de los combustibles, deben expedir la reglamentación que conduzca a mejorar la calidad

del diésel, mediante la disminución progresiva de los niveles de azufre presentes en dicho combustible hasta alcanzar los estándares internacionales que indican que dichos niveles deben ser inferiores a 50 partes por millón (ppm),

Resolución 898 de 1995, ARTICULO 4. Calidad de combustibles diésel o ACPM calidad del biocombustible para uso en motores diésel, del combustible diésel (ACPM) y su mezcla.

8. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO

Los conceptos utilizados en el mantenimiento que se destacan en este estudio son los siguientes:

8.1 CRITERIO DE CONFIABILIDAD

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene para que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

8.2 CRITERIO DE DISPONIBILIDAD

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado.

En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

En la fase de diseño de equipos o sistemas, se debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida.

8.3 CRITERIO DE MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimiento prescrito.

En términos probabilísticas, Francios Monchy, define la mantenibilidad como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos” o simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en una determinado tiempo.

8.4 FILTRACIÓN

La correcta filtración en el trabajo de un motor es de vital importancia, ya sea la filtración de aire como del aceite lubricante y del combustible.

El principal objetivo que se persigue con la filtración es la eliminación de las partículas abrasivas presentes en los fluidos que van a circular por el motor. En

segundo lugar, centrado básicamente en lo que atañe a lubricantes, la filtración de los mismos permite eliminar los productos de combustión y de la propia degradación de los mismos que van en suspensión, ya que pueden causar la formación de depósitos en los circuitos de engrase y en otras partes del motor.

También por vía indirecta las partículas de suciedad que entran al sistema pueden acelerar el desgaste, o en el mejor de los casos, causar únicamente deficiencias de funcionamiento. Así, por ejemplo, fibras, partículas de materia plástica o de goma causan obturaciones en el circuito de aceite o en la entrada del combustible.

Los filtros son los encargados de separar y retener las partículas, de determinados tamaños que, contenidas en el aire de aspiración, el aceite lubricante o en el combustible pueden constituir una potencial causa de desgaste en el motor. El concepto “partículas de determinado tamaño” se entiende como sectores limitados dentro de una escala continua de granulometría de las partículas arrastradas por los fluidos. Un filtro correctamente diseñado y mantenido deberá retener estas partículas en un porcentaje definido.

Para el filtrado de los fluidos se utilizan diferentes tipos de filtros, diferenciándose en cuanto a su función, construcción y mantenimiento. Debido a los diferentes campos de aplicación, las diferencias entre filtros de aire de aspiración y de aceite lubricante son las más evidentes.

Actualmente los filtros de combustible son muy similares a los de aceite, por lo cual no se incidirá en los mismos, y únicamente señalamos sus diferencias más importantes que son:

Tienen menores exigencias en cuanto al estallamiento, ya que la presión de trabajo no alcanza los valores del circuito de aceite.

Disponen de un material de filtrado más fino, ya que las holguras de los elementos que protegen son más pequeñas.

Los filtros de combustible no poseen válvulas de derivación (by pass), de esta manera se evita con total seguridad la penetración de cantidades de suciedad aunque sean mínimas. Por otro lado ello implica que la colmatación de un filtro de combustible implica obligatoriamente la parada del motor.

Adicionalmente se pueden combinar los filtros de combustible con instalaciones para la separación de agua y para el calentamiento del combustible diésel (disposición ampliamente utilizada en grandes motores diésel).

8.5 ANÁLISIS DE ACEITES

El análisis de aceites consiste en la realización de test físico-químicos en el aceite con el fin de determinar si el lubricante se encuentra en condiciones de ser empleado, o si debe ser cambiado. Es una de las técnicas simples, que mayor información proporciona al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

Muchos departamentos de mantenimiento tienen actualmente Programas de Análisis de Aceite. Algunos utilizando el laboratorio de su proveedor de lubricantes o contratando los servicios de laboratorio privados. En muchos de los casos los resultados del análisis, son recibidos semanas o meses después de la toma de la muestra y la información se vuelve irrelevante, ya que para ese momento, las condiciones del equipo ya son diferentes, en muchos casos el aceite ya fue cambiado y en otros el equipo ya falló y fue reparado.

Objetivos del seguimiento analítico de los aceites:

- Controlar el estado de la carga de aceite
- Controlar el estado del equipo

Muestreo: Es importante que la muestra sea representativa, debe ser extraída del equipo en las condiciones normales de operación (con el aceite en circulación y caliente) o inmediatamente después de haber parado la máquina. No deben tomarse muestras en frío. Deberán tomarse las cantidades necesarias y etiquetarlas con el mayor número posible de datos de su origen.

Los parámetros a analizar entre otros son los siguientes:

- **Aspecto:** Aceite claro y limpio. Aceite turbio. Fase de agua decantada. Aceite sucio. Aceite sucio con partículas decantadas. Indeterminable.
- **Color - olor:** Más oscuro implica oxidación del aceite, mezcla, contaminación. Más claro puede indicar mezcla, presencia de agua.
- **Partículas en suspensión:** El aceite normalmente tiene unas características uniformes, el tener partículas extrañas en suspensión indica anomalías dentro del motor.
- **Viscosidad:** Es la resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura. La viscosidad cinemática se mide por el tiempo que un determinado volumen de aceite emplea en fluir a través de un tubo capilar a una temperatura determinada.

Este tubo capilar se introduce con el aceite a controlar en un baño a temperatura constante hasta que la temperatura se estabilice. En él hay unas marcas calibradas que definen un volumen determinado, el cual multiplicado por el tiempo nos da la viscosidad cinemática en mm^2/s (ó cSt) a dicha temperatura.

La viscosidad se da normalmente a dos temperaturas (40°C y 100°C). El grado de viscosidad ISO se define como la viscosidad a 40°C.

- **Pérdida de viscosidad:** Va relacionado a entrada de combustible al aceite por falla en el sistema de suministro de combustible en la relación de combustión.
- **Incremento de Viscosidad:** Asociado con alto contenido de hollín generado por deficiente combustión o filtrado de aceite, o alto funcionamiento del motor en ralentí, falla en el sistema de refrigeración, retiro del termostato, retiro de refrigerante para usar agua, no cambiar o cambio parcial de aceite, no cambiar filtro de aceite en los intervalos recomendados por fabricante o por la tecnología del lubricante.
- **Índice de acidez (T.A.N):** La cantidad de producto básico, expresado en mg KOH/g requeridos para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en 1g de la muestra

Para obtener una muestra representativa, las muestras se calientan a 65°C para asegurar que cualquier sedimento o depósito que pueda contener compuestos ácidos se disuelva en el aceite

La muestra se disuelve en una mezcla de propanol y tolueno y se introduce en el potenciómetro con una solución de Hidróxido de Potasio (KOH)

Permite detectar la oxidación del lubricante y el consumo de aditivos. Un aumento del mismo es síntoma de oxidación y una disminución de consumo de aditivos.

- **Alcalinidad (T.B.N.):** La cantidad de ácido, expresada en el número equivalente de mg KOH, requeridos para neutralizar todos los compuestos ácidos presentes en 1g de muestra

Para obtener una muestra representativa, las muestras se calientan a 65°C para asegurar que cualquier sedimento o depósito que pueda contener compuestos ácidos se disuelva en el aceite

La muestra se disuelve en una mezcla de propanol y tolueno y se introduce en el potenciómetro con una solución de Cloruro de Hidrógeno (HCl).

- **Interpretación:** El TBN mide la reserva alcalina del lubricante, y mayormente se aplica a lubricantes para motores. Si un lubricante contiene aditivos no alcalinos, no es muy útil determinar el TBN, ya que es probable que no haya.

Si el TBN alcanza el 2.0 o disminuye más del 50% con respecto al punto de partida, se debe considerar un drenaje.

Entre las aplicaciones sugeridas se encuentran los motores alternativos, motores a gas natural y compresores que usan lubricantes alcalinos.

- **Espectrometolografías:** Cualquiera de las técnicas usadas para detectar y cuantificar trazas de elementos metálicos. Se realiza para medir partículas metálicas menores de 10 micras y nos brinda información sobre desgaste, contaminación y aditivos.
- **Análisis Infrarrojo:** Es una forma de espectroscopia de absorción restringida a la región de longitud de ondas espectrales infrarrojas que identifica y cuantifica los grupos funcionales orgánicos

Un haz de luz infrarroja atraviesa una muestra de aceite usado contenido en una celda de cristal. El espectro de infrarrojo generado por la muestra se reproduce en un gráfico

Cada tipo de aceite tiene un espectro característico (como una huella digital) que permite comparar el aceite nuevo con el usado

Las diferencias entre los espectros muestran algunos cambios de los componentes del lubricante en servicio

Por ejemplo, puede medirse cuanto antidesgaste se ha consumido en un aceite hidráulico, contenido en agua u oxidación.

- **Espectrometría de Emisión:** La muestra se calienta y se lleva hasta un estado de plasma. Los elementos presentes emiten ciertas radiaciones en el espectro visible y ultravioleta. La radiación emitida es separada en diferentes longitudes de onda por difracción. La intensidad de la radiación es medida a diferentes longitudes de onda y esto permite calcular las concentraciones de los diferentes elementos presentes en la muestra.

Se pueden medir concentraciones desde 1 a 1000 ppm. Esta técnica se utiliza para determinar el nivel de aditivos (Ba,Ca,Mg,P,B), metales de desgaste (Fe,Cu,Pb,Ag,Al,Ni) y contaminantes (Si,Na,K,Ba)

- **Hollín en el aceite:** Producto de la combustión y filtrado de aceite.
- **Oxidación:** Indica cuanta vida útil de aceite se ha consumido.
- **Nitración:** Producto de la combustión, niveles altos indican mezclas de combustible pobres.

- **Sulfatación:** Presencia de Azufre residuo de la combustión.
- **Agua o Glicol:** Productos de refrigerantes contenidos en volumen en el aceite.
- **Metales por desgaste:** De acuerdo a la composición de las piezas del motor se tienen indicaciones de metales de la siguiente manera: Aluminio (Al): Pistones, Cromo (Cr): Anillos. Cobre (Cu) con Estaño (Sn): bronces de bujes. Cobre (Cu) solo: enfriador de aceite. Hierro (Fe): de diferentes componentes y se interpreta comparando con otros metales su fuente de desgaste, Plomo (Pb) con Estaño (Sn): Babbitt de casquetes, Silice (Si): polvo o tierra también relaciona otros metales por contaminación, asociado a fallas de filtrado de aire o manejo de aceite durante la puesta.

Límites recomendados para el aceite utilizado en los motores Alco se enuncian en la tabla 6

Tabla 6. Límites recomendados para el aceite

Prueba	Frecuencia	Norma ASTM	Limite
Aumento viscosidad a 100°C +/-20%	Mensual	D88 o D445	
Aumento viscosidad a 40°C +/-30%	Disparo	D88 o D445	
Pentano insoluble	Mensual	D893	3% máx.
Benceno insoluble	Mensual	D893	Reporte
Dilución combustible. vol. %	Disparo	D322	5% máx.
Contenido de cenizas sulfatadas	Mensual	D874	6% v/n
TBN (aceites con TBN 7-10)	Mensual	D2896	3
TBN (aceites con TBN 10-13)	Mensual	D2896	6
PH	Mensual	D664	5
Trazas de elementos	Ppm máx.		
Aluminio (pistones)	Mensual	Espectrograma	5
Cromo (camisas y fugas agua)	Mensual	Espectrograma	10
Cobre (bujes/cojinetes)	Mensual	Espectrograma	20
Hierro (anillos y otros)	Mensual	Espectrograma	50
Plomo (cojinetes bielas-turbos)	Mensual	Espectrograma	10

Prueba	Frecuencia	Norma ASTM	Limite
Silicio (filtros aire)	Mensual	Espectrograma	5
Sodio (fugas agua tratada)	Mensual	Espectrograma	30

Fuente: Rutina 840 horas para motores Alco 251

9. INVENTARIO DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LAS UNIDADES EXISTENTES

Se descarga la información del sistema de mantenimiento de Ecopetrol SAP y se filtran los componentes correspondientes a los equipos relacionados con los motores de combustión interna de combustible diésel, con su respectiva calificación de criticidad bajo los conceptos de seguridad de procesos, relacionándolos en las siguientes tablas.

Tabla 7. Inventario de los equipos o componentes de la planta Orito con su estado de criticidad.

NOMBRE DEL EQUIPO O COMPONENTE PLANTA ORITO	CRITICIDAD ASP
Tanque almacenamiento ACPM 300 bls	Equipo critico
Válvula presión y vacío tanque ACPM	Equipo critico
Agrupar válvulas tanque ACPM	Equipo critico
Válvula salida tanque ACPM	Equipo critico
Tanque de ACPM 300 bls	Equipo critico
Sistema contra incendio	
Bomba diésel #1 sistema contra incendio agua	Equipo critico
Banco de baterías sistema contra incendio agua #1	Equipo critico
Tablero control agua #1	Equipo critico
Tablero Control temperatura motor sistema contra incendio #1	Equipo critico
Bomba centrifuga sistema contra incendio agua #1	Equipo critico
Válvula Cheque descarga bomba sistema contra incendio agua # 1	Equipo critico
Motor diésel contraincendios agua #1	Equipo critico
Válvula seguridad bomba sistema contra incendio agua #1	Equipo critico
Válvula Compuerta succión bomba sistema contra incendio agua #1	Equipo critico
Válvula Compuerta salida bomba sistema contra incendio agua #1	Equipo critico

NOMBRE DEL EQUIPO O COMPONENTE PLANTA ORITO	CRITICIDAD ASP
Filtro en y entrada sistema contra incendio agua #1	Equipo critico
Tanque combustible motor diésel #1	Equipo critico
Bomba diésel #2 sistema contra incendio agua	Equipo critico
Banco de baterías sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Bomba centrifuga sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Válvula cheque bomba sistema contra incendio agua # 2	Equipo critico
Motor diésel sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Válvula seguridad bomba sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Válvula Compuerta succión bomba sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Válvula Compuerta salida bomba sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Filtro en y entrada sistema contra incendio agua #2	Equipo critico
Tanque combustible motor diésel #2	Equipo critico
Bomba diésel sistema contra incendio espuma	Equipo critico
Banco de baterías sistema contra incendio espuma	Equipo critico
Tablero control sistema contra incendio espuma #1	Equipo critico
Bomba centrifuga sistema contra incendio espuma #1	Equipo critico
Motor diésel contra incendio espuma #1	Equipo critico
Reductor contra incendio espuma #1	Equipo critico
Tanque combustible motor diésel #2	Equipo critico
Motor Alco 251 unidad de bombeo # 1	No critico
Interruptor bomba booster motor #1	No critico
Interruptor extractor gases #1	No critico
Motor eléctrico de bomba booster motor #1	No critico
Motor eléctrico extractor de gases # 1	No critico
Transductor. Pres aceite motor #1	No critico
Transductor Presión aire turbo #1	No critico
Transductor Presión combustible #1	No critico
Transductor Presión entrada agua motor #1	No critico
Válvula reguladora de aire #1	No critico
Válvula solenoide entrada motor de arranque #1	No critico
Sensor bajo nivel columna agua #1	No critico
Sensor nivel tanque combustible motor #1	No critico

NOMBRE DEL EQUIPO O COMPONENTE PLANTA ORITO	CRITICIDAD ASP
Transductor temperatura in/out aceite motor #1	No critico
Transductor temperatura in/out agua motor #1	No critico
Transductor temperatura culata (izq) motor Alco #1	No critico
Transductor temperatura culata (der) motor Alco #1	No critico
Transmisor velocidad pickup rpm motor #1	No critico
Transmisor vibración motor #1	No critico
Bomba centrifuga prelubricación motor # 1	No critico
Bomba centrifuga agua motor # 1	No critico
Motor arranque neumática #1 y facilidades	No critico
Motor #1 Alco 251	No critico
Válvula Tanque agua refrigeración motor #1	No critico
Filtro de combustible #1	No critico
Intercambiador de calor combustible motor #1	No critico
Tanque columna agua refrigerante motor #1	No critico
Motor Alco 251 unidad de bombeo # 2	No critico
Interruptor bomba booster motor #2	No critico
Interruptor extractor gases #2	No critico
Motor eléctrico extractor de gases #2	No critico
Motor eléctrico de bomba booster motor #2	No critico
Transductor Pres aceite motor #2	No critico
Transductor Pres aire turbo #2	No critico
Transductor Pres combustible #2	No critico
Transductor Presión agua motor #2	No critico
Válvula reguladora de aire #2	No critico
Válvula solenoide entrada motor de arranque #2	No critico
Swich bajo nivel columna agua #2	No critico
Swich nivel tanque combustible motor #2	No critico
Transductor temperatura in/out aceite motor #2	No critico
Transductor temperatura in/out agua motor #2	No critico
Transductor temperatura culata (der) motor Alco #2	No critico
Transductor temperatura culata (izq) motor Alco #2	No critico
Transmisor velocidad pickup rpm motor #2	No critico
Transmisor vibración motor #2	No critico
Bomba centrifuga pre lubricación motor # 2	No critico

NOMBRE DEL EQUIPO O COMPONENTE PLANTA ORITO	CRITICIDAD ASP
Bomba centrífuga agua motor # 2	No critico
Motor arranque neumática #2 y facilidades	No critico
Motor #2 Alco 251	No critico
Válvula tanque agua refrigeración motor #2	No critico
Filtro de combustible #2	No critico
Intercambiador de calor combustible motor #2	No critico
Tanque columna agua refrigerado motor #2	No critico

Fuente: Software de gestión de mantenimiento SAP de Ecopetrol.

Tabla 8. Inventario de los equipos o componentes de la planta Guamues con su estado de criticidad.

Nombre del equipo o componente Planta Guamues	CRITICIDAD ASP
Bomba diésel #1 sistema contra incendio agua	No critico
Banco de baterías sistema contra incendio agua #1	No critico
Tablero unidad sistema contra incendio agua #1	No critico
Tablero control temperatura motor #1	No critico
Bomba centrífuga sistema contra incendio agua #1	No critico
Válvula cheque descarga bomba sistema contra incendio agua #1	No critico
Motor diésel sistema contra incendio agua #1	No critico
Reductor sistema contra incendio agua # 1	No critico
Válvula descarga bomba sistema contra incendio agua #1	No critico
Tanque combustible motor diésel #1	No critico
Bomba diésel #2 sistema contra incendio agua	No critico
Banco de baterías sistema contra incendio agua #2	No critico
Tablero control agua #2	No critico
Bomba centrífuga sistema contra incendio agua #2	No critico
Válvula cheque descarga bomba sistema contra incendio agua #1	No critico
Motor diésel sistema contra incendio agua #2	No critico
Reductor sistema contra incendio agua # 1	No critico
Válvula descarga bomba sistema contra incendio agua #1	No critico

Nombre del equipo o componente Planta Guamues	CRITICIDAD ASP
Tanque combustible motor diésel #2	No critico
Motor Alco 251 unidad de bombeo # 1	Equipo critico
Motor eléctrico de bomba booster motor #1	Equipo critico
Motor eléctrico extractor de gases # 1	Equipo critico
T. Presión aceite motor # 1	Equipo critico
T. Presión aire turbo # 1	Equipo critico
T. Presión combustible # 1	Equipo critico
T. Presión entrada agua motor # 1	Equipo critico
Válvula reguladora de aire #1	Equipo critico
Swich bajo nivel columna de agua Alco #1	Equipo critico
Swich de nivel tanque de combustible motor #1	Equipo critico
Transductor temperatura in/out agua motor #1	Equipo critico
Transductor temperatura in/out aceite motor # 1	Equipo critico
Transductor temperatura culata (der) motor Alco #1	Equipo critico
Transductor temperatura culata (izq) motor Alco #1	Equipo critico
Transmisor velocidad pickup rpm motor #1	Equipo critico
Transmisor de vibración motor # 1	Equipo critico
Bomba centrifuga prelubricación motor # 1	Equipo critico
Bomba centrifuga agua motor # 1	Equipo critico
Motor arranque neumática #1 y facilidades	Equipo critico
Válvula tanque agua refrigeración motor #1	Equipo critico
Intercambiador de calor aceite motor #1	Equipo critico
Tanque columna agua refrigerante motor #1	Equipo critico
Motor Alco 251 unidad de bombeo # 2	No critico
Motor eléctrico de bomba booster motor #2	No critico
Motor eléctrico extractor de gases #2	No critico
Transductor presión aceite motor # 2	No critico
Transductor presión aire turbo # 2	No critico
Transductor presión combustible # 2	No critico
Transductor presión entrada agua motor # 2	No critico
Válvula reguladora de aire #2	No critico
Swich bajo nivel columna de agua Alco #2	No critico

Nombre del equipo o componente Planta Guamues	CRITICIDAD ASP
Swich de nivel tanque de combustible motor #2	No critico
Transductor temperatura in/out agua motor # 2	No critico
Transductor temperatura in/out aceite motor # 2	No critico
Transductor temperatura culatas (der) motor Alco #2	No critico
Transductor temperatura culata (izq) motor Alco #2	No critico
Transmisor velocidad pickup rpm motor #2	No critico
Transmisor de vibración motor # 2	No critico
Bomba centrifuga pre-lubricación motor # 2	No critico
Bomba centrifuga agua motor # 2	No critico
Motor arranque neumática #2 y facilidades	No critico
Válvula de tanque agua refrigeración motoru#2	No critico
Intercambiador de calor aceite motor #2	No critico
Tanque columna agua refrigerante motor #2	No critico

Fuente: Software de gestión de mantenimiento SAP de Ecopetrol.

10. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Ecopetrol S.A. realizó un estudio en el año 2014 llamado “Estudio de Actualización de la Estrategia de Mantenimiento para las Plantas”, por tanto en este análisis se procede a identificar el modelo de dicho estudio, los fundamentos y validar que equipos y/o componentes críticos podrían llegar a ser afectados en el cambio de combustible, enfocado principalmente a las unidades principales de bombeo.

El estudio fue basado en:

- FMECA (Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad),
- RCM (Modelo de Mantenimiento Centrado en confiabilidad),
- RAM (Matriz de Identificación de Peligros y Análisis de Riesgos),
- ASP (Administración de la Seguridad de Procesos),
- RBI (Análisis de Integridad Mecánica),
- ISO 14224: 2006 (proporciona una base completa para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento).

De acuerdo a los conocimientos adquiridos en la especialización de mantenimiento y a la experiencia del equipo designado para el estudio, se deduce que éste cuenta con los conceptos esenciales para determinar la criticidad de los equipos.

Las actividades que hicieron parte de la elaboración del estudio fueron:

1. Presentación de la metodología.
2. Presentación de procesos de la planta.
3. Definición de ecuaciones de pérdida, como parte de la evaluación de criticidad.
4. Evaluación de criticidad de equipos.
5. Definición de función, fallas funcionales, modos y efectos de falla de componentes críticos.

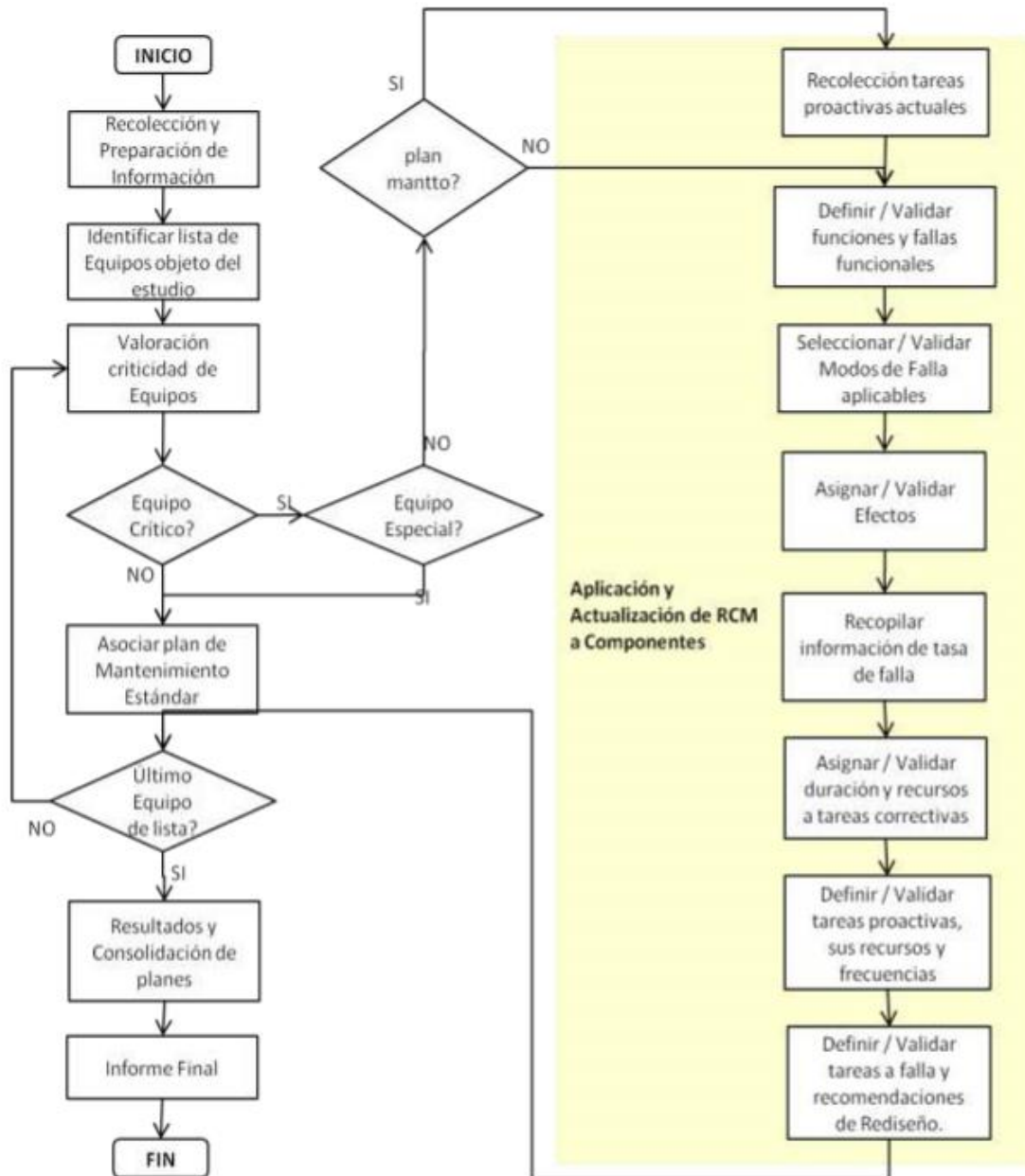
6. Evaluación de tasas de falla de componentes críticos.
7. Definición de tareas correctivas, preventivas, predictivas y consideraciones de rediseño, asociadas a componentes críticos.
8. Estimación de recursos, repuestos, costos y frecuencias de tareas correctivas, preventivas y predictivas (cuando aplican).
9. Hallazgos para mejorar descripciones, corregir códigos de familia ECP, reubicar componentes en el árbol, e incluir o eliminar componentes o equipos en el software de mantenimiento.
10. Levantamiento de información técnica de repuestos: partes número y costos estimados por parte de las especialidades de instrumentos, mecánica y electricidad.

De la información recolectada se tiene:

1. Datos de factor de utilización, redundancia, filosofía operacional, costos asociados.
2. Funciones, fallas funcionales, modos de falla, causas de falla, técnicas de detección.
3. Tasas de falla (cantidad de fallas y tiempo de evaluación), población de falla.
4. Descripción de tareas correctivas, preventivas y predictivas.
5. Duración y tiempos muertos asociados a tareas correctivas, preventivas y predictivas.
6. Recursos asociados a las tareas correctivas, preventivas y predictivas.
7. Descripción y costos estimados de repuestos asociados a las tareas correctivas y preventivas.
8. Información de equipos y componentes faltantes, no existentes o desmantelados, y mejoras de descripciones para ingreso al software de mantenimiento.
9. Identificación de recomendaciones de rediseño u opciones de mejora en la planta.

La definición de los planes de mantenimiento se lleva a cabo siguiendo los pasos fundamentales reflejados en el siguiente flujograma.

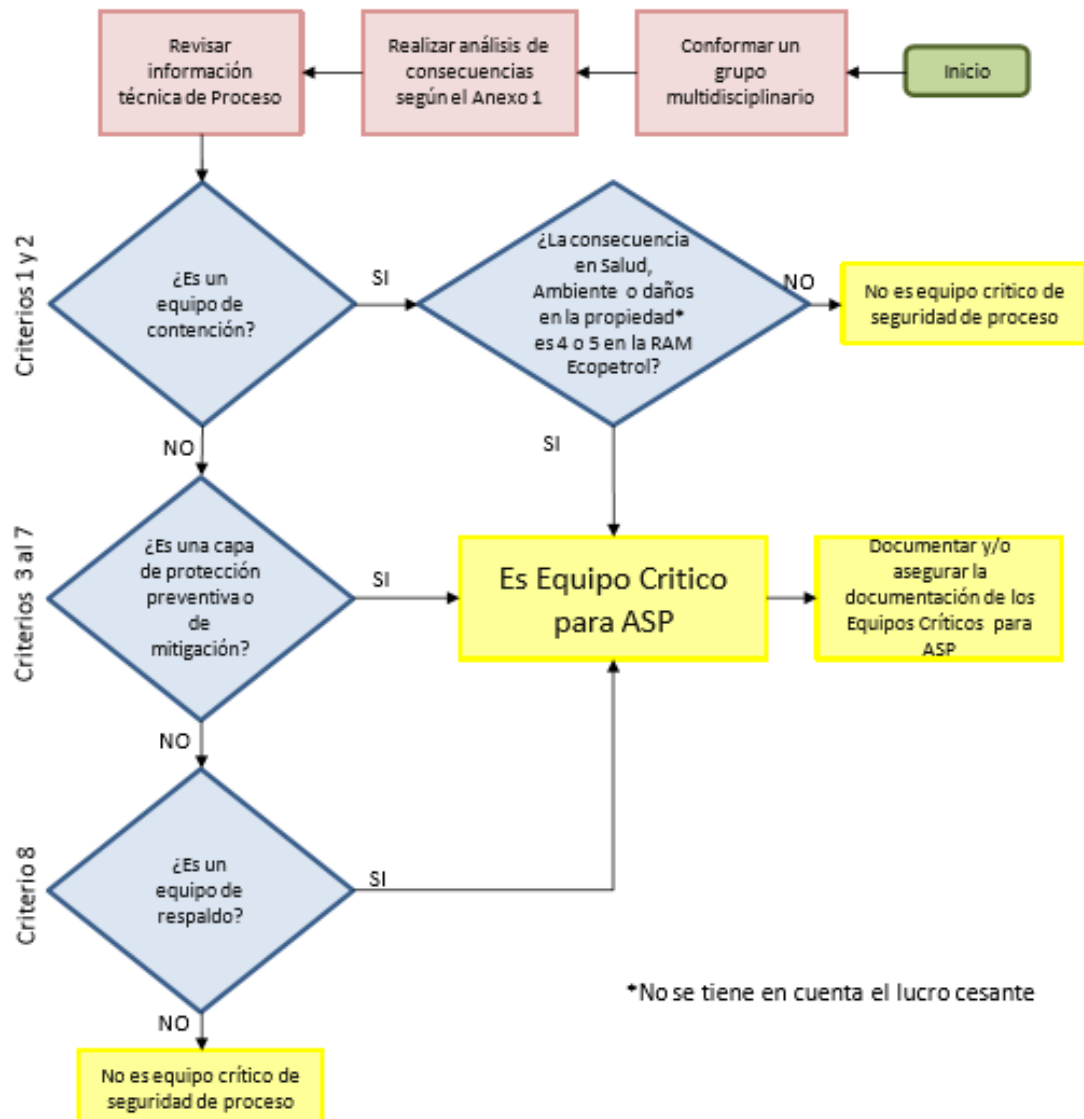
Figura 1. Flujograma para definición de planes de mantenimiento



Fuente: Estudio de Actualización de la Estrategia de Mantenimiento para las Plantas año 2014 de Ecopetrol

La identificación de equipos críticos por ASP se logra aplicando el procedimiento sintetizado en el siguiente flujograma:

Figura 2. Identificación de sistemas, equipos o componentes críticos para ASP



Fuente: Procedimiento para identificar componentes, equipos y sistemas críticos de seguridad de procesos (ECP-VST-O-PRO-PT-001) de Ecopetrol

En esta evaluación de criticidad de equipos se emplean dos herramientas, que son suministradas por Ecopetrol S.A. las cuales son:

- la matriz de evaluación de riesgos (RAM) (ECP-DRI-F-045)
- el procedimiento para identificar componentes, equipos y sistemas críticos de seguridad de procesos (ECP-VST-O-PRO-PT-001),

Un equipo se considerará crítico para el presente análisis si su calificación RAM es igual o superior a M (es decir Medio – *Medium* (M), Alto - *High* (H) o Muy Alto – *Very High* (VH)) o si es clasificado como crítico por seguridad de proceso.

Como punto de partida del estudio se hace una valoración preliminar, donde las unidades principales de bombeo se catalogan como equipos críticos, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 9. Valoración preliminar de criticidad de equipos de acuerdo a matriz RAM y ASP

SISTEMAS PRINCIPALES	VH	H	M	L	N	ASP
Sistema de almacenamiento	0	0	6	0	1	6
Sistema aire industrial	0	0	0	0	2	0
Sistema agua industrial	0	0	1	0	0	0
Subestación - distribución eléctrica	0	1	0	0	0	1
Sistema contra incendios	0	0	2	5	2	9
Sistema centro de control operacional	0	0	1	0	1	1
Sistema de alivio y medio ambiente	0	0	0	1	2	3
Sistema planta física y vías	0	0	3	0	3	3
Sistema equipos laboratorio	0	0	0	0	1	0
Sistema de herramientas programables	0	0	1	0	1	0
Equipos auxiliares	0	0	2	0	0	1
Sistemas múltiples en general	0	0	4	0	0	3
Unidad de medición lact.	0	0	0	0	4	0
Unidad de bombeo #1	0	0	4	0	0	2
Unidad de bombeo #2	0	0	4	0	0	2

Fuente: Estudio de Actualización de la Estrategia de Mantenimiento para las Plantas año 2014 de Ecopetrol

Como resultado de la actualización de la estrategia de mantenimiento se identifica que las unidades de bombeo de las plantas no se clasifican como equipos críticos, a pesar que punto de partida en preliminares se consideraban equipos en riesgo M, en la siguiente tabla, se ilustra la valoración optimizada de acuerdo al estudio

Tabla 10. Mapa de riesgos de los sistemas de la planta con la estrategia optimizada.

No.	SISTEMAS PRINCIPALES	VH	H	M	L	N
1	Equipos auxiliares sistema unidades de bombeo	0	0	0	0	2
2	Sistema aire industrial	0	0	0	2	0
3	Sistema centro control operacional	0	0	0	1	0
4	Sistema de alivio y medio ambiente	0	0	0	1	1
5	Sistema de almacenamiento	0	0	0	3	2
6	Sistema de herramientas programables	0	0	0	1	0
7	Sistemas múltiples en general	0	0	0	1	2
8	Sistema planta física y vías	0	0	1	1	1
9	Sub estación - Distribución eléctrica	0	0	1	0	0
10	Unidad de bombeo #1	0	0	0	2	2
11	Unidad de bombeo #2	0	0	0	3	1
TOTAL		0	0	2	15	11

Fuente: Estudio de actualización de la estrategia de mantenimiento para las plantas año 2014 de Ecopetrol

La identificación de los riesgos bajo la metodología empleada, permite a las plantas contar con una herramienta importante para la toma de decisiones, enfocadas en los activos de mayor criticidad, fundamentándose en una adecuada combinación de experiencia del personal de la planta y análisis de confiabilidad que dan una mayor objetividad para determinar cursos de acciones específicas para optimizar el desempeño de los equipos.

11. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

11.1 GENERACIÓN DE AVISOS

Para la generación de avisos o solicitudes de servicio, diligenciado por cualquier funcionario para reportar una falla o condición de funcionamiento anormal en algún equipo teniendo en cuenta, para ello, los árboles de equipos que se encuentran en la ruta donde lo defina cada área.

El profesional responsable del área que debe atender dicho aviso, para lo cual se debe tener en cuenta la siguiente relación de clase de avisos:

- **Mantenimiento Planeado:** Este tipo de aviso se crea automáticamente desde el plan de mantenimiento.
- **Falla / Desviación:** Reporte de las desviaciones observadas. Pérdida total o parcial de la función.
- **Servicios generales:** Reporte de mantenimiento que no necesariamente se relaciona con equipos (puede ser para edificaciones o servicios generales) en planta.
- **Diagnóstico de condición:** el equipo requiere ajuste en sus rangos operativos o por decisión producto de un estudio de integridad y/o confiabilidad y/o continuidad operativa y/o riesgos y/o interferencia de terceros, la gerencia de planeación y programación genera la orden de mantenimiento y su respectiva programación para su ejecución.

- Incorporación/Desincorporación: Solicitud de incorporación o desincorporación de equipos.

11.2 ORDENES DE MANTENIMIENTO

Existen diferentes clases de órdenes de mantenimiento que se generan de acuerdo al origen de la necesidad de mantenimiento y se describen así:

11.2.1 Orden preventiva planeada: Orden de Mantenimiento que ha sido previamente planeada y documentada en cuanto a todos sus recursos, para ejecutarse sobre un equipo con una frecuencia establecida. Se generan a partir de los planes de mantenimiento a través de la supervisión a plazos.

11.2.2 Orden correctiva no planeada: Orden de mantenimiento que inicia con una solicitud de trabajo (aviso) por una desviación y/o pérdida parcial o total de la función. Posteriormente, se procede a realizar una planeación de recursos humanos y/o servicios y/o materiales para atención del aviso generado.

11.2.3 Orden correctiva planeada: Se inicia con un aviso generado por la gerencia de integridad y confiabilidad de acuerdo a resultados de una técnica de monitoreo de condición, inspecciones y/o mediciones aplicadas a los activos que evidencia una avería y que requiera una intervención correctiva planeada y la cual no es valorada como un mantenimiento mayor capitalizable.

11.2.4 Orden mantenimiento de mayor capitalizable: Puede tener tres orígenes:

- Basada en un estudio emitido por la Gerencia de Integridad y Confiabilidad que presenta un análisis de riesgo previo a su ejecución.
- Presupuesto de Inversión.
- Ejecución de un Proyecto.

11.2.5 Orden emergencias: Por imprevistos de sobrevinientes de la naturaleza o por efecto de atentados a la infraestructura y/o activos por parte de terceros o por efectos de interferencia de terceros. Las órdenes de emergencias deben documentarse los detalles de soporte de la emergencia presentada en sus diferentes variables.

11.3 PROCESO DE LAS ORDENES DE MANTENIMIENTO:

11.3.1 Planeación de la orden de mantenimiento: Una vez recibida la orden de mantenimiento, el Planeador deberá verificar la información inicialmente registrada y continuar con el proceso de planeación que consiste en presupuestar, relacionar las tareas, asegurar la disponibilidad de materiales o repuestos y de personal para realizar el trabajo. La orden de mantenimiento deberá salir en estado abierta y planeada.

11.3.2 Autorización de la orden de mantenimiento: El rol autorizador de órdenes de mantenimiento es diferente en cada centro de planificación; quienes tienen la responsabilidad de liberar la orden de mantenimiento, deben revisar y asegurar que esté correctamente diligenciado.

11.3.3 Programación de la orden de mantenimiento: El Programador recibirá todas las órdenes de mantenimiento de los diferentes puestos de trabajo y mediante el proceso de balance de recursos comprometerá y emitirá el programa de Mantenimiento para ser enviado a todas las Plantas y Estaciones.

11.3.4 Documentación y cierre de las órdenes de mantenimiento ejecutadas: El Supervisor de mantenimiento del área de trabajo con base en lo reportado por el personal técnico que haya ejecutado la orden de mantenimiento, debe notificar la

ejecución del trabajo para cerrar la orden de mantenimiento y finalmente el profesional de la especialidad audita las cantidades realmente ejecutadas.

11.4 RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Las rutinas de mantenimiento corresponden a los trabajos preventivos, previamente establecidos en un plan de mantenimiento. Para el propósito de esta monografía, nos centramos en las rutinas establecidas para las unidades principales y específicamente para los motores Alco y se resumen de la siguiente manera:

11.4.1 Rutina 840 horas para motores Alco: Inspección general limpieza de filtros - cambio filtro inyección:

- 1 Toma de muestra de aceite.
- 2 Drenaje del Carter.
- 3 Cambio de filtros de combustible
- 4 Limpieza de los filtros de aire.
- 5 Limpieza del Carter
- 6 Aseo de los ductos de lubricación del motor.
- 7 Relleno el sistema de lubricación.
- 8 Inspección mecánica de todo el sistema
- 9 Puesta en marcha de la unidad
- 10 Limpieza general de la parte externa del motor.
- 11 Coordinación con el operador la puesta en marcha de la Unidad aplicando carga.
- 12 Verificación de ruidos anormales.
- 13 Cierre del permiso de trabajo.
- 14 Cierre y documentación la respectiva orden de trabajo

11.4.2 Rutina 1680 horas para motores Alco: Limpieza de filtros, aftercooler y calibrar válvulas:

1. Toma de muestra de aceite.
2. Drenaje del cárter.
3. Cambio de filtros de combustible
4. Limpieza de filtros de aire.
5. Limpieza del cárter
6. Aseo de los ductos de lubricación del motor.
7. Relleno del sistema de lubricación.
8. Inspección mecánica de todo el sistema
9. Puesta en marcha de la unidad
10. Calibración de válvulas
11. Limpieza de panel de aftercooler
12. Limpieza del motor externamente.
13. Coordinación con el operador la puesta en marcha de la unidad aplicando carga.
14. Verificación de ruidos anormales.
15. Cierre del permiso de trabajo.
16. Cierre y documentación de la respectiva orden de trabajo

11.4.3 Rutina 13440 horas para motores Alco: Reparar culatas cambiar internos:

1. Bloqueo de toda fuente de ignición y arranque neumático
2. Drenaje de aceite y refrigerante del motor
3. Retiro de elementos que estén sobre las tapas de válvulas
4. Retiro de tubos de escape y silenciador
5. Retiro de múltiples de admisión, escape y turbos
6. Desapriete de los balancines de válvulas
7. Retiro de flauta de balancines
8. Desapriete de culata
9. Retiro de vástagos de empuje
10. Despegue y retiro de culata

11. Limpieza de culata para poder evaluar su estado
12. Reemplazo guías asientos y válvulas de admisión y escape
13. Dar asiento a las válvulas mediante el método de chocolateo y pomada esmeril
14. Verificar el ángulo de asentamiento
15. Inspección de resortes platos y cuñas. Reemplazo de ser necesario
16. Repetir el procedimiento por el número de culatas
17. Limpieza nuevamente la culata y secado con aire comprimido
18. Armado del conjunto de válvulas y resortes
19. Limpieza de la superficie del bloque
20. Instalación de empaques nuevos
21. Armado en el orden contrario al desarme
22. Verificación en el manual los datos de torque para cada tornillo
23. Calibración de las holguras entre válvulas de acuerdo al manual
24. Reposición aceite y filtro nuevo
25. Reposición de líquido refrigerante verificando su ph
26. Verificar niveles correctos y posibles fugas
27. Coordinación con operaciones pruebas del equipo
28. Monitoreo de variables de temperatura, presión de aceite durante las pruebas
29. Entrega formal del equipo a operaciones
30. Cierre del permiso de trabajo
31. Documentación y cierre de la Orden de Trabajo

11.4.4 Rutina 26880 horas para motores Alco: Overhaul:

1. Toma de muestra de aceite.
2. Drenaje del cárter.
3. Cambio de filtros de combustible
4. Limpieza de los filtros de aire.
5. Limpieza del cárter
6. Aseo de los ductos de lubricación del motor.
7. Relleno el sistema de lubricación.

8. Inspección mecánica de las unidades
9. Puesta en marcha de la unidad
10. Cambio de aceite del gobernador
11. Calibración del gobernador. (con el motor en marcha)
12. Calibración de las revoluciones del motor
13. Calibración del celenoide. (con la maquina parada)
14. Limpieza externa del motor
15. Coordinación con el operador la puesta en marcha de la unidad aplicando carga.
16. Verificación de ruidos anormales
17. Cierre de permiso de trabajo.
18. Cierre y documentación de la respectiva orden de trabajo

12. ANALISIS Y VALIDACIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

El modelo de mantenimiento que aplica las plantas en sus equipos, soportado con un software especializado en mantenimiento, esta actualizado y es altamente confiable para los propósitos de mantenimiento de los equipos, objeto de este estudio.

Una vez validado el modelo de mantenimiento y realizado el seguimiento a los reportes de mantenimiento cargados en la herramienta, se identifica que el modelo es adecuado y las rutinas que genera el programa están alineadas con las necesidades de inspección e intervención de los equipos, sin embargo en el seguimiento para tener suficientes puntos de referencia que permitan comparar el cambio de combustible, de diésel a Fuel Oil No 4, al implementar la unidad de autoconsumo, no se tienen datos suficientes en los reportes de análisis de Aceite de los motores de las Unidades Principales.

Por lo anterior se solicita a la coordinación de mantenimiento implementar rutinas de análisis de aceite en periodos de uno a dos meses, de la misma manera se solicita que el registro de tiempos de operación de los motores y el tiempo de usos del aceite sean estrictamente tenidos en cuenta.

Los datos de referencia estaban tomados sin una frecuencia estándar para todos los motores, lo cual con el desarrollo de esta monografía se contribuyó a el aseguramiento de datos, de tal manera que le de herramientas al mantenedor para la toma de decisiones.

13. ANÁLISIS EN EL CAMBIO DE LA MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS

Entre los datos identificados que pueden cambiar la mantenibilidad de los equipos se listan los siguientes:

- Cambios en el comportamiento del sistema de inyección
- Análisis de Aceites Usados

13.1 ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN

Si las frecuencias de intervención de los equipos aumentan, se verán afectados los indicadores de mantenimiento y los costos asociados a éstos, que para el caso en particular de las unidades de bombeo, estos últimos corresponden a los costos del barril transportado, adicional a la imagen de la empresa ante los clientes que requieren evacuar sus productos

La filtración del combustible es fundamental en los motores diésel, ya que el buen funcionamiento de las bombas de inyección y de los inyectores están en función de la limpieza del combustible. Las impurezas que podemos encontrar en suspensión en los combustibles comprenden: herrumbre, sustancias minerales, productos diversos de oxidación y agua.

En este punto conviene señalar la diferencia existente entre los combustibles para Automoción y los fuel-oils de utilización fundamentalmente en motores estacionarios grandes, como lo son los motores Alco de las unidades principales de bombeo en estudio.

La limpieza de los combustibles típicos de automoción se realiza con sistemas de filtrado estáticos muy similares a los que se emplean para el filtrado del aceite

lubricante. Para la limpieza de los combustibles residuales (fuel-oil) es habitual instalar dos equipos montados en serie; el primero operando como depuradora, eliminando la gran mayoría de los sólidos y el agua, mientras que el segundo está preparado como clarificadora, completando la eliminación de sólidos insolubles o cualquier otra cantidad de agua aún presente en el combustible.

13.2 ANÁLISIS DE ACEITE USADO

Como punto fundamental de un mantenimiento predictivo de los motores, buscamos adelantarnos a una falla que se pueda generar a causa del cambio de combustible, donde pueda este contribuir a la contaminación del aceite y consecuentemente al desgaste de las partes del motor, reduciendo la vida útil del mismo y cambios en la mantenibilidad.

En los motores de combustión interna, donde el combustible es quemado en las entrañas del motor, la lubricación se ve enormemente dificultada debido a los fenómenos adicionales y más exigentes a los que se debe enfrentar; altas temperaturas, productos de la combustión y residuos que pueden contaminar el lubricante, altos esfuerzos de cizallamiento, etc.

El tipo y calidad del combustible utilizado así como el tipo de ciclo de motor van a ser parámetros importantes en la lubricación. Las altas temperaturas a las que se verá sometido el lubricante en este tipo de motores es la característica básica que diferenciará la lubricación de estos equipos frente a otro tipo de maquinaria o motores de combustión externa

El grado de refinado de los combustibles, la presencia de impurezas o de aditivos beneficiosos son parámetros importantes con relación a cómo va a quemar el

combustible y por ende el efecto que va a tener sobre el lubricante. La mayor parte de los productos de la combustión son evacuados a la atmósfera vía el sistema de escape pero una significativa proporción de los mismos puede fugar a través de la holgura entre segmentos y camisa contaminando el aceite y pudiendo causar efectos adversos.

Desde el punto de vista de aplicación a un sistema de diagnóstico mediante el análisis de aceite ha quedado patente la importancia del conocimiento exacto del motor y de todo lo que rodea al mismo de cara a la obtención de un diagnóstico preciso. Premisa que se toma como parámetro principal de seguimiento, para determinar si al realizar el cambio de combustible diésel por el combustible obtenido de la unidad de autoconsumo, afecta la mantenibilidad de las unidades.

Los motores Alco de las Plantas Orito y Guamues usan aceite de referencia Terpel Maxter SAE 15W40 CI-4 y el nivel total de cada motor es de 260 galones, de los cuales se analiza el contenido de hollín en el aceite, la oxidación, la nitración, la sulfatación, contenido de agua, contenido de glicol, metales de desgaste, viscosidad e índice de basicidad.

Haciendo uso de los datos obtenidos de los análisis de laboratorio para aceites usados, realizados por Terpel para los motores Alco durante los años 2015 y 2016; tiempo en el que se hizo cambio de combustible, inicialmente en el año 2015 se hizo uso de combustible diésel obtenido de un proveedor comercial de dicho combustible y enseguida su cambio en el año 2016 con el combustible obtenido de la unidad de autoconsumo de Orito, Fuel Oil No 4, se procede a realizar una comparación de cada una de sus variables, relacionando como referencia los límites permisibles con los que se considera un aceite óptimo para la operación y se puede considerar que dicho aceite se encuentra dentro de su vida útil.

En adelante las siguientes tablas relacionan los datos del análisis de cada motor, datos que se procedieron a graficar para visualizar de una manera más clara y poder observar si hay cambios relevantes que nos indiquen algún impacto al hacer cambio de combustible en los motores, los datos tomados del Anexo 2

Las tablas 11 y 12 nos muestran los datos analizados en el aceite del motor Alco 1 de Orito:

Tabla 11. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Orito periodo 2015

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	ASTM D4045	ASTM D02896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	19-may-15	3983	840	14,41	9,3	0,96	0,09	0,12	0,26	0,00	0,00	0,00	seco
2	21-ago-15	6843	740	13,48	9,2	0,38	0,05	0,07	0,1	0,00	0,00	0,00	seco
3	16-sep-15	7360	285	13,63	8,92	0,11	0,09	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	seco
4	6-oct-15	7960	636	13,8	8,32	0,48	0,03	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	seco
5	9-nov-15	8599	901	13,54	9,31	0,61	0,06	0,07	0,16	0,00	0,00	0,00	seco
6	9-dic-15	9203		13,77	8,26	0,24	0,02	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	seco
LIMITES				11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)											
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na				
1	3983	1	2	2	21	2	0	3	2				
2	6843	1	1	1	16	1	0	3	2				
3	7360	1	1	2	18	1	0	3	2				
4	7960	1	1	4	22	2	0	3	2				
5	8599	1	2	5	21	2	0	2	2				
6	9203	1	1	1	10	1	0	2	2				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40				

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Febrero 22 del 2016

Tabla 12. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Orito periodo 2016

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Equipo	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollín A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	Hr.	ASTMD0445	ASTMD02896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	18-ene-16	303		2,79	13,72	8,58	0,3	0,05	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	seco
2	9-feb-16	743	14841	5,1	13,97	9,11	0,56	0,07	0,07	0,15	0,00	0,00	0,00	seco
3	15-mar-16	1487	14916	5,85	14,01	9	0,54	0,06	0,07	0,15	0,00	0,00	0,00	seco
4	14-abr-16	2306	15095	7,35	14,06	8,6	0,69	0,07	0,09	0,18	0,00	0,00	0,00	seco
5	10-jun-16	2645	15192	8,32	14,06	8,02	0,77	0,1	0,1	0,21	0,00	0,00	0,00	seco
6	24-jun-16	2844	15294	9,34	14,14	7,39	0,82	0,15	0,11	0,21	0,00	0,00	0,00	seco
7	26-oct-16	4437	15335	24	14,43	10,3	0,21	0	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	seco
8	26-dic-16	18	15447	136	14,41	9,89	0,31	0,03	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	seco
LIMITES					11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)								Na				
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si						
1	303	1	1	1	14	2	0	3	61					
2	743	1	1	2	18	2	0	3	2					
3	1487	1	1	2	20	2	0	2						
4	2306	1	1	1	21	2	0	2	2					
5	2645	1	1	2	23	1	0	2	2					
6	2844	2	2	2	26	4	0	3	2					
7	4437	1	1	1	7	1	0	2	2					
8	18	1	1	1	11	1	0	4	2					
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40					

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Enero 05 del 2017

Figura 3. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2015 vs horas de uso del aceite

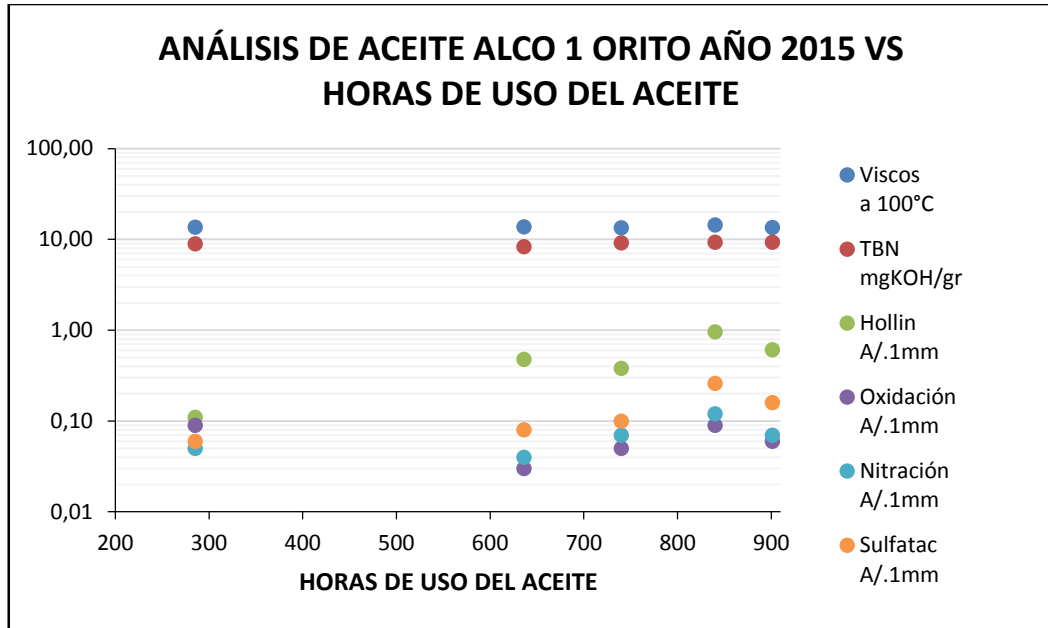


Figura 4. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2016 vs horas de uso del aceite

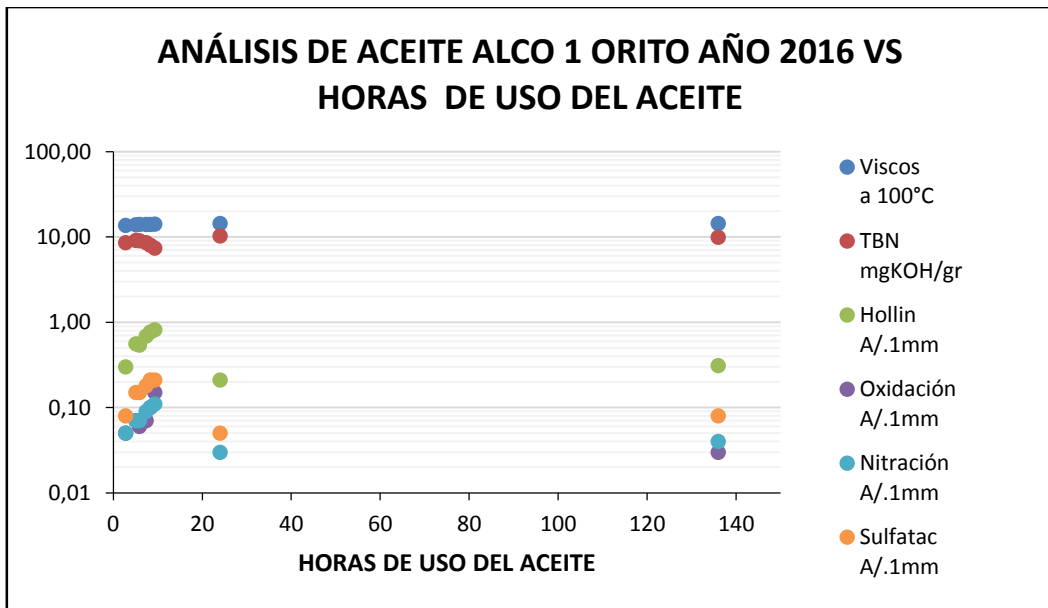


Figura 5. Análisis de aceite Alco 1 Orito año 2016 vs horas de operación del motor

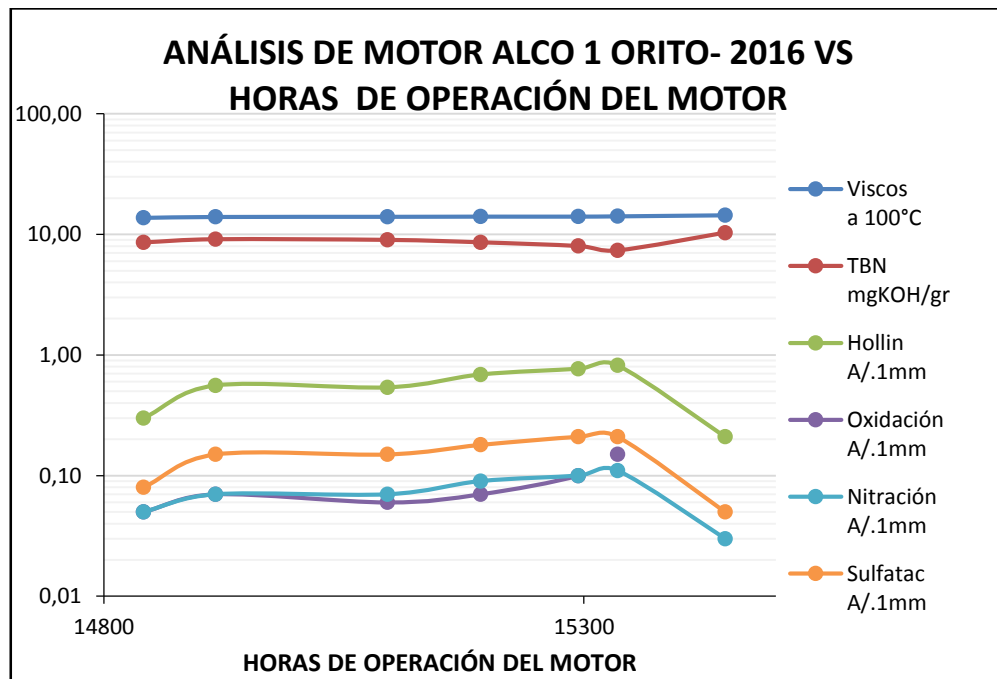


Figura 6. Análisis de aceite usado Alco 1 Orito año 2015 – Contenido Metálico – Emisión Atómica

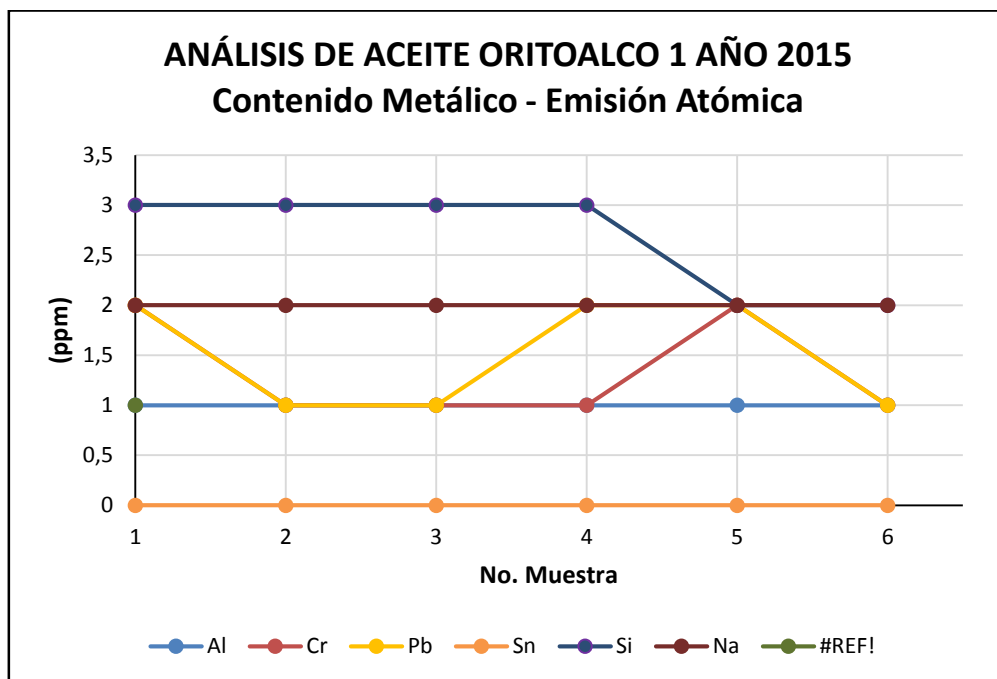
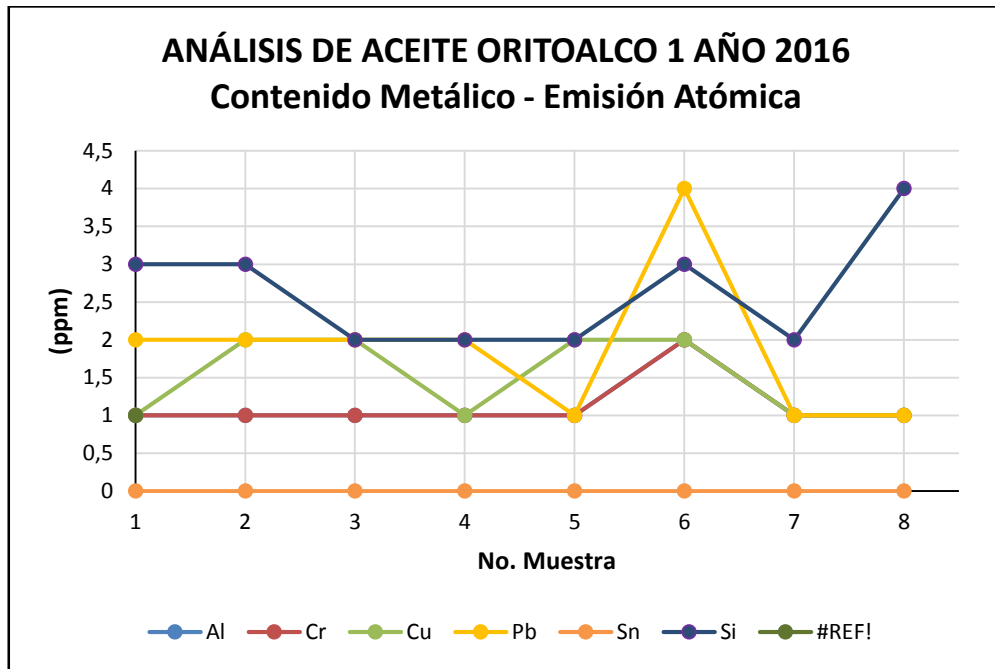


Figura 7. Análisis de aceite usado Alco 1 Orito año 2016 – Contenido Metálico – Emisión Atómica



De los análisis de aceite usado en el motor Alco No 1 de planta Orito se puede observar que no existe variación en los resultados de los diferentes parámetros habiendo implementado el autoconsumo de combustible, como también se puede observar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos para una operación eficiente del aceite

Las tablas 13 y 14 nos muestran los datos analizados en el aceite del motor Alco 2 de Orito

Tabla 13. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Orito periodo 2015

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	ASTM D0 445	ASTM D 02896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	30-abr-15	3981		14,21	9,2	0,64	0,08	0,08	0,17	0,00	0,00	0,00	seco
2	21-ago-15	6844	840	14,13	9,3	0,59	0,09	0,12	0,24	0,00	0,00	0,00	seco
3	16-sep-15	7361	1000	14,17	7,14	0,99	0,06	0,09	0,2	0,00	0,00	0,00	seco
4	6-oct-15	7961	1002		7,14								húmedo
5	9-nov-15	8600		13,43	9,22	0,25	0,07	0,3	0,04	0,00	0,00	0,00	seco
6	9-dic-15	9204		13,74	9,24	0,33	0,02	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	seco
LIMITES				11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)											
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na				
1	3981	1	3	9	22	1	0	3	2				
2	6844	2	4	10	31	2	0	3	4				
3	7361	1	4	11	41	1	0	3	4				
4	7961	1	4	10	20	2	0	3	5				
5	8600	1	2	2	12	1	0	2	2				
6	9204	1	2	3	15	3	0	2	6				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40				

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Febrero 22 del 2016

Tabla 14. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Orito periodo 2016

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Equipo	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	Hr.	ASTM D445	ASTM D2896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	18-ene-16	304		175	13,79	8,54	0,3	0,03	0,04	0,06				
2	9-feb-16	744	4230	302	13,82	8,5	0,43	0,03	0,05	0,1	0,00	0,00	0,00	seco
3	14-abr-16	1877	4525	265	14,07	9,23	0,48	0,04	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	seco
4	14-abr-16	2307	4908	648	14,34	9,2	0,7	0,05	0,08	0,12	0,00	0,00	0,00	seco
5	10-jun-16	2646	5110	850	14,55	9,49	0,92	0,08	0,14	0,19				
6	24-jun-16	2845	6110	1000	14,67	9,35	0,98	0,07	0,11	0,16	0,00	0,00	0,00	seco
7	3-ago-16	3272	6532	422	14,28	10,26	0,54	0,03	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	seco
8	23-sep-16	3966	7107	997	14,35	8,91	0,72	0,05	0,07	0,15	0,00	0,00	0,00	seco
9	26-oct-16	4438	7399	292	14,48	10,12	0,45	0,03	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	seco
10	26-dic-16	19	7677	570	14,73	9,71	0,7	0,05	0,07	0,12	0,00	0,00	0,00	seco
LIMITES					11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)												
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na					
1	304	1	3	3	18	2	0	5	6					
2	744	1	4	5	22	2	0	3	15					
3	1877	1	2	2	17	1	0	3	4					
4	2307	1	2	2	17	1	0	2	4					
5	2646	1	2	3	20	1	0	2	3					
6	2845	1	2	3	22	2	0	3	4					
7	3272	1	1	1	12	0	0	3						
8	3966	3	3	2	24	1	0	3	2					
9	4438	1	1	0	12	0	0	1	1					
10	19	1	2	1	20	1	0	7	2					
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40					

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Enero 05 del 2017

Figura 8. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2015 vs horas de uso del aceite

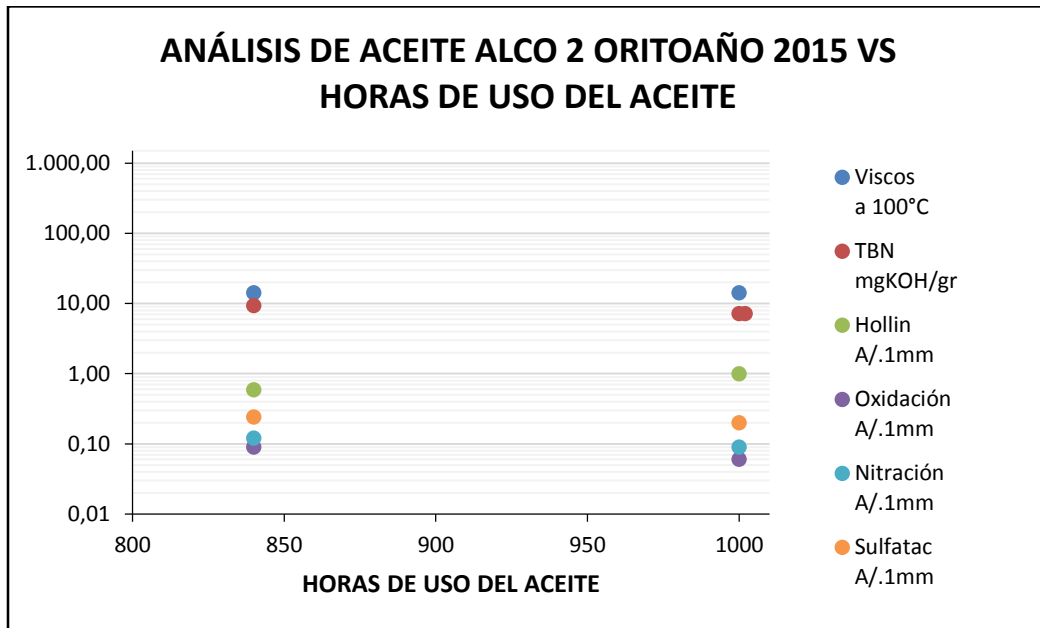


Figura 9. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2016 vs horas de uso del aceite

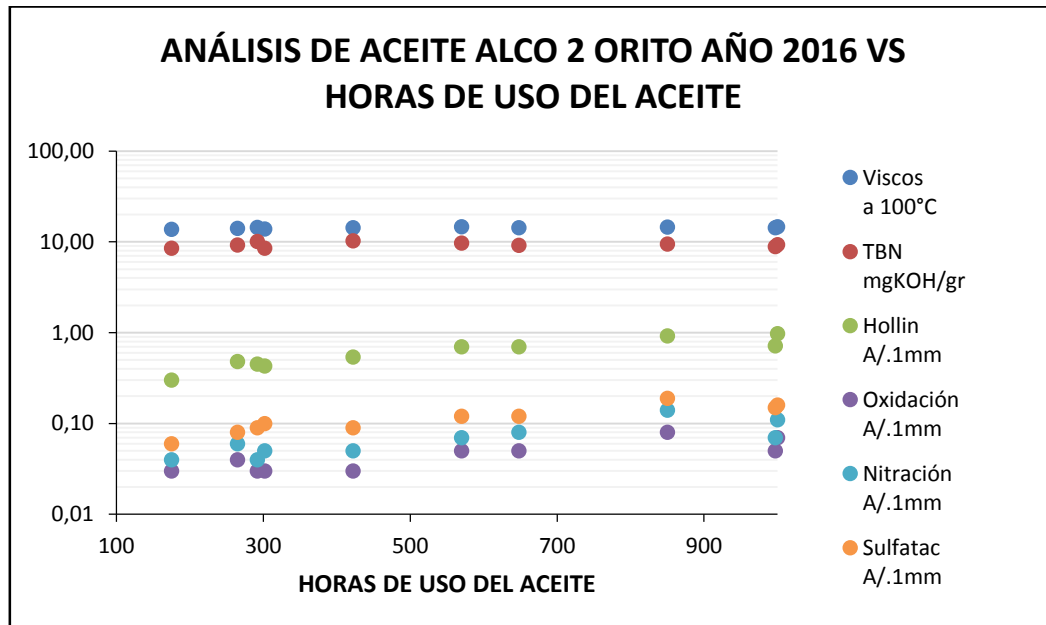


Figura 10. Análisis de aceite Alco 2 Orito año 2016 vs horas de operación del motor

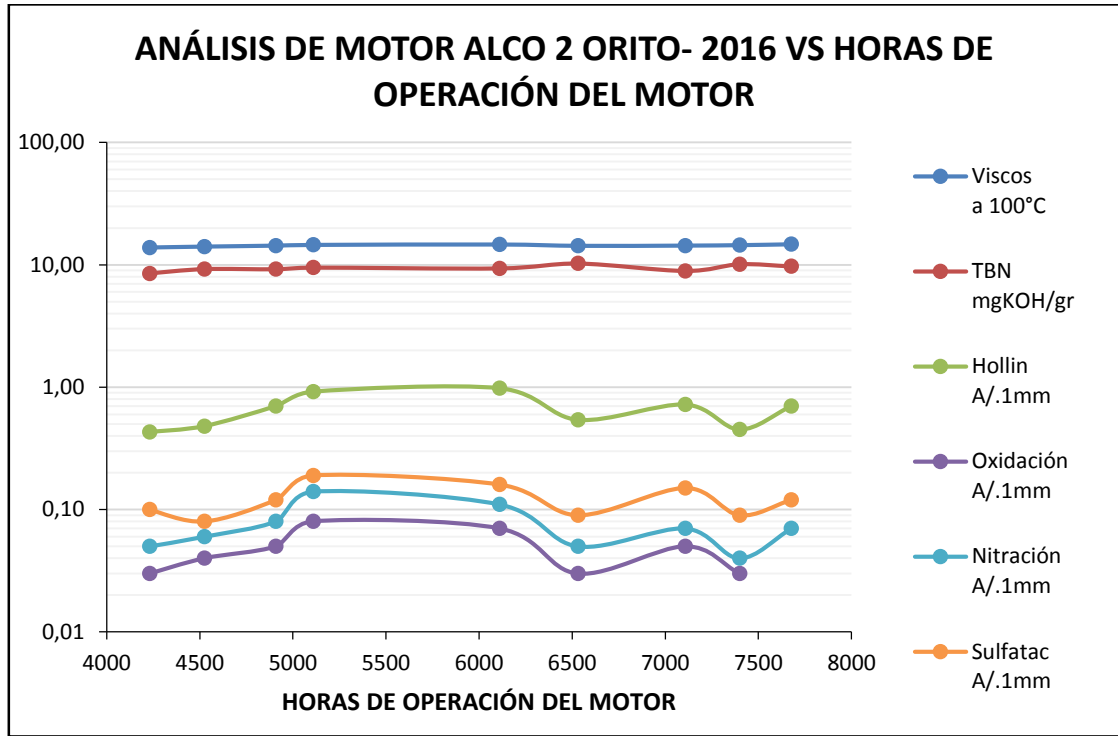


Figura 11. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2015 – Contenido Metálico – Emisión Atómica

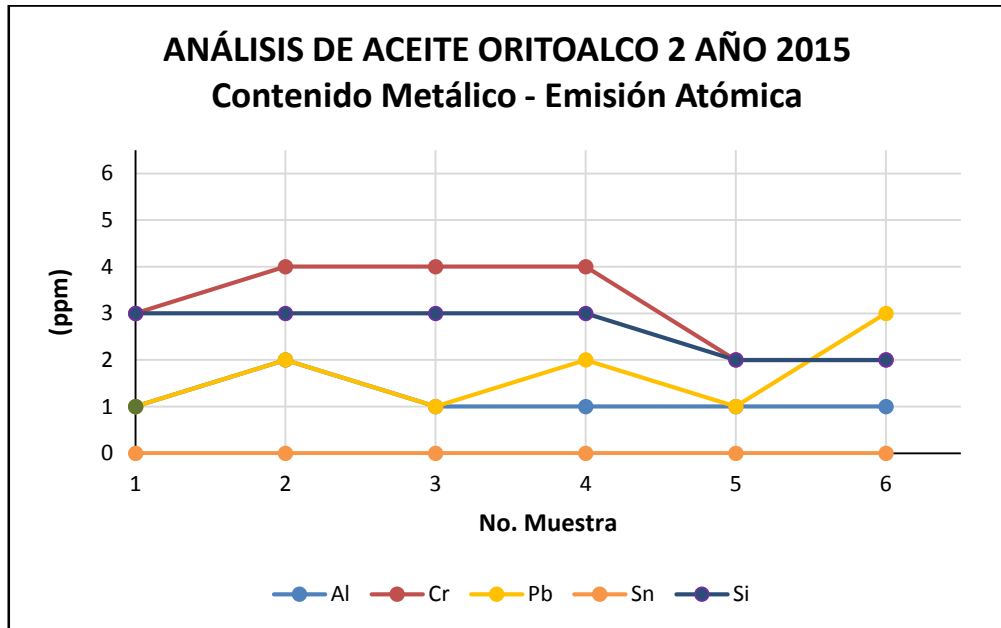
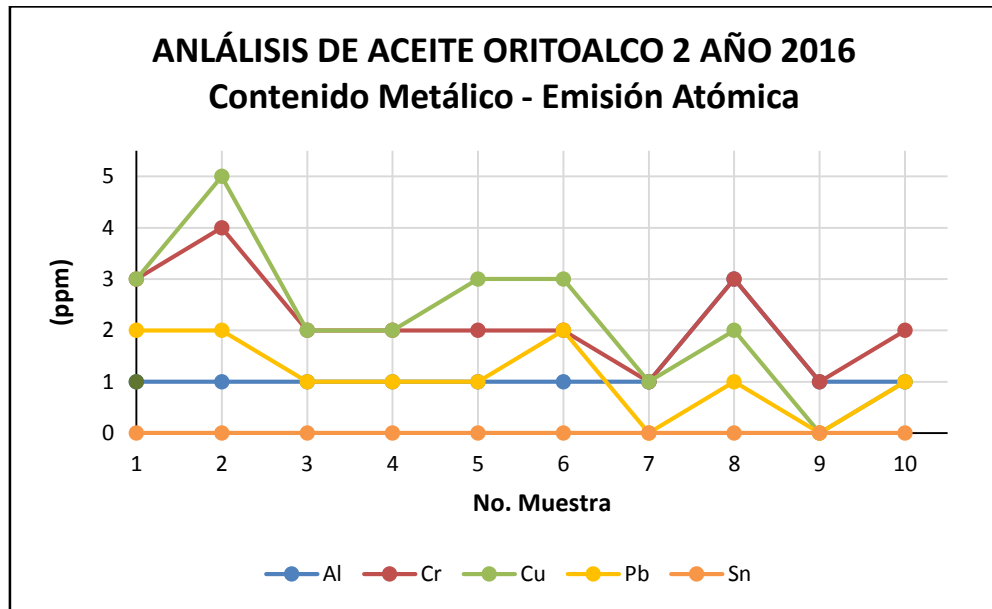


Figura 12. Análisis de aceite usado Alco 2 Orito año 2016 – Contenido Metálico – Emisión Atómica



De los análisis de aceite usado en el motor Alco No 2 de planta Orito se puede observar que no existe variación en los resultados de los diferentes parámetros habiendo implementado el autoconsumo de combustible, como también se puede observar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos para una operación eficiente del aceite

Las tablas 15 y 16 nos muestran los datos analizados en el aceite del motor Alco 1 de Guamues

Tabla 15. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Guamues periodo 2015

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	ASTM D4045	ASTM D2896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	27-ago-08	10640		15,26	8,36	0,1	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	seco
2	26-may-10	6566	780	13,9	11,01	0,07	0,08	0,07	0,12	0,00	0,00	0,00	seco
3	no informa	8843		14,11		0,04	0,03	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	seco
4	26-jul-10	8848	822	13,91		0,1	0,1	0,08	0,14	0,00	0,00	0,00	seco
5	20-ene-15	2211	840	14,14		0,37	0,1	0,1	0,26	0,00	0,00	0,00	seco
6	21-ago-15	42250	17	14,17	9,1	0,46	0,05	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	seco
7	9-dic-15	9205		No reporta	8,67					0,00	0,00	0,00	Húmedo
LIMITES				11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)											
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na				
1	10640	1	0	0	2	1	0	2					
2	6566	2	3	9	16	1	0	3					
3	8843	7	1	11	6	2	0	5					
4	8848	2	1	10	15	1	0	4					
5	2211	1	2	8	28	2	3	4					
6	42250	1	1	1	18	2	0	4	3				
7	9205	1	0	8	8	1	0	2	3				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40				

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Febrero 22 del 2016

Tabla 16. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 1 de planta Guamues periodo 2016

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Equipo	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	Hr.	ASTM D4045	ASTM D02896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	9-feb-16	745	18044	92	14,28	10,64	0,09	0,04	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	Seco
2	15-mar-16	1488	18132	250	14,26	9,27	0,05	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	Seco
3	14-abr-16	2308	18498	534	14,12	9,6	0,1	0,07	0,06	0,11	0,00	0,00	0,00	Seco
4	10-jun-16	2647	18814	850	14,07	9,42	0,17	0,1	0,09	0,15	0,00	0,00	0,00	Seco
5	24-jun-16	2846	18927	963	14,1	8,77	0,21	0,1	0,1	0,18	0,00	0,00	0,00	Seco
6	3-ago-16	3273	19160	233	14,47	10,03	0,1	0,04	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	Seco
7	23-sep-16	3967	19160	203	14,33	9,25	0,1	0,02	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	Seco
8	26-oct-16	4439	19165	208	14,18	9,89	0,19	0,03	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	Seco
9	26-dic-16	20	19180	223	14,14	9,43	0,09	0,03	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	Seco
LIMITES					11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)												
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na	Ti				
1	745	1	1	13	12	2	0	3	4	5				
2	1488	1	1	9	12	2	0	2	4	4				
3	2308	1	1	10	17	2	0	3	4	4				
4	2647	1	1	23	19	1	0	2	3	4				
5	2846	1	2	35	23	3	0	4	4	4				
6	3273	1	1	9	11	0	0	3						
7	3967	6	1	5	14	3	0	3	2	0				
8	4439	0	1	4	11	0	0	1	2	1				
9	20	1	1	4	12	1	0	4	3	0				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40					

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Enero 05 del 2017

Figura 13. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 vs horas de uso del aceite

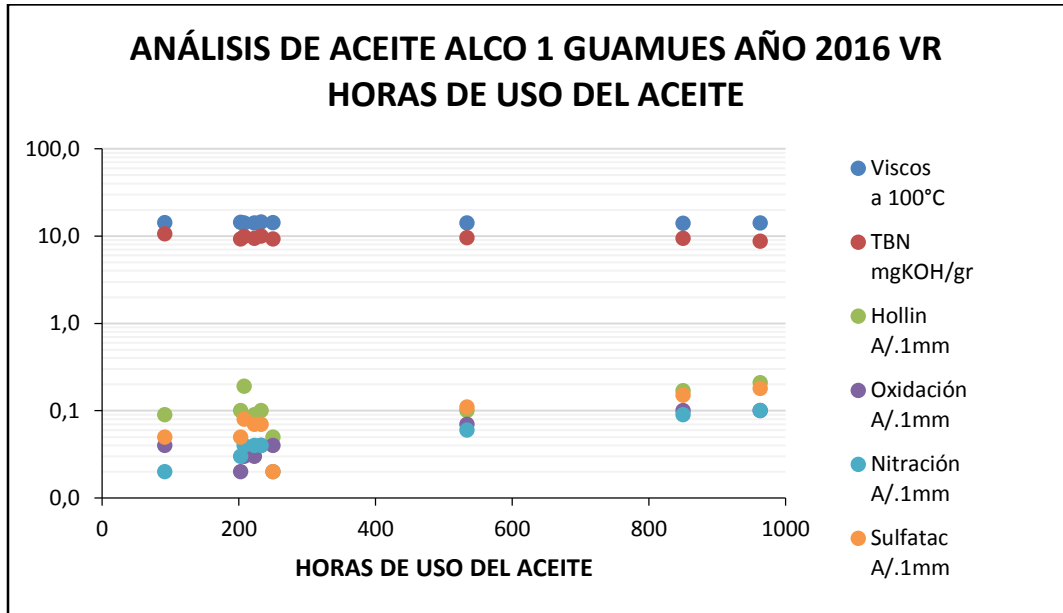


Figura 14. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 vs horas de operación del motor

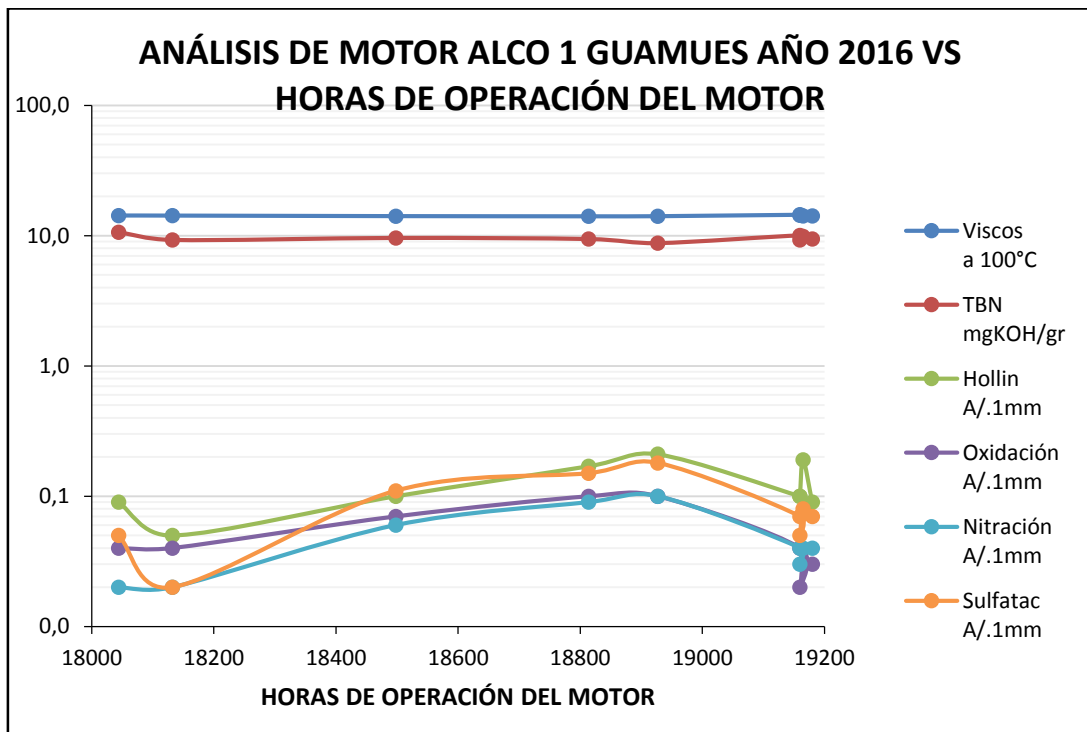


Figura 15. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2015 - Contenido Metálico – Emisión Atómica

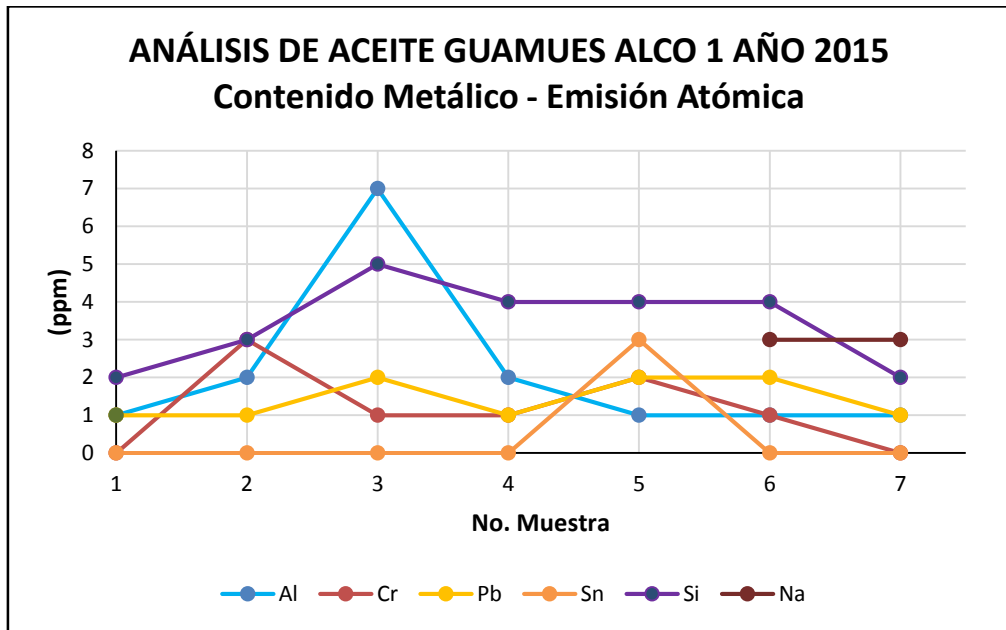
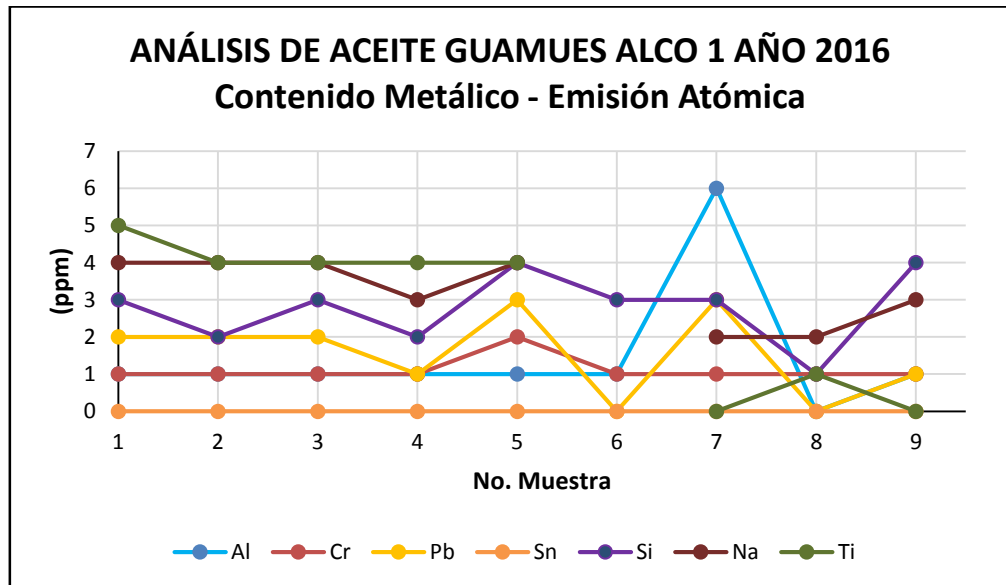


Figura 16. Análisis de aceite usado Alco 1 Guamues año 2016 - Contenido Metálico – Emisión Atómica



De los análisis de aceite usado en el motor Alco No 1 de planta Guamues se puede observar que no existe variación en los resultados de los diferentes parámetros habiendo implementado el autoconsumo de combustible, como también se puede observar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos para una operación eficiente del aceite

Las tablas 17 y 18 nos muestran los datos analizados en el aceite del motor Alco 1 de Guamues

Tabla 17. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Guamues periodo 2015

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	ASTM D0 445	ASTM D 02896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	14-oct-14	9555		14,14	9,4	0,4	0,08	0,08	0,19	0,00	0,00	0,00	seco
2	6-oct-15	7963	16	14,26	9,3	0,14	0,04	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	seco
3	9-nov-15	8602	18	14,03	9,09	0,12	0,04	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	seco
4	9-dic-15	9206		14,41	9,64	0,22	0,04	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	Húmedo
LIMITES				11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)											
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na				
1	9555	1	1	3	31	2	0	3	2				
2	7963	1	1	1	18	2	0	3	4				
3	8602	1	1	1	15	3	0	2	4				
4	9206	1	1	1	15	3	0	2	5				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40				

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Febrero 22 del 2016

Tabla 18. Reporte de análisis de laboratorio al aceite usado del motor Alco No 2 de planta Guamues periodo 2016

Muestra	Fecha	Código Muestra	Servicio Equipo	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	TBN mgKOH/gr	Hollin A/.1mm	Oxidación A/.1mm	Nitración A/.1mm	Sulfatación A/.1mm	Contenido % Combustible	Contenido % Glicol	Contenido % Agua	Característica Humedad
		Terpel	Hr.	Hr.	ASTM D445	ASTM D2896	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	Plancha
1	18-ene-16	306		257	14,58	8,96	0,16	0,04	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	Seco
2	9-feb-16	746	19715	611	14,94	9,67	0,26	0,07	0,07	0,14	0,00	0,00	0,00	Seco
3	15-mar-16	1489	19954	850	15,27	9,2	0,39	0,9	0,1	0,22	0,00	0,00	0,00	Seco
4	14-abr-16	1879	20221	267	15,04	9,58	0,4	0,07	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00	Seco
5	24-jun-16	2847	20315	451	15,05	9,13	0,44	0,08	0,1	0,16	0,00	0,00	0,00	Seco
6	3-ago-16	3274	20315	451	13,41	8,75	0,58	0,08	0,11	0,18	0,00	0,00	0,00	Seco
7	23-sep-16	3968	20414	599	14,04	7,52	0,63	0,14	0,16	0,18	0,00	0,00	0,00	Seco
8	26-oct-16	4440	20543	129	15,36	8,02	0,79	0,09	0,13	0,24	0,00	0,00	0,00	Seco
9	26-dic-16	21	20744	330	14,78	9,61	0,45	0,06	0,09	0,12	0,00	0,00	0,00	Seco
LIMITES					11,5-19,5	5	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	Seco
Muestra	Código Muestra	CONTENIDO METÁLICO - EMISIÓN ATÓMICA PARTES POR MILLON (ppm)												
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na	Ti				
1	306	1	1	1	15	3	0	2	5					
2	746	2	1	1	17	4	0	4	5	5				
3	1489	1	1	1	16	3	0	2	5	6				
4	1879	1	1	2	23	4	0	2		6				
5	2847	1	1	1	16	3	0	3	4	5				
6	3274	1	1	1	23	2	0	4						
7	3968	4	1	2	33	4	0	4	9	4				
8	4440	1	1	3	22	2	0	2	2	5				
9	21	1	1	1	11	2	0	5	3	1				
LIMITES		15	15	45	100	40		15	40					

Fuente: Reporte de análisis de laboratorio Terpel, fecha: Enero 05 del 2017

Figura 17. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 vs horas de uso del aceite

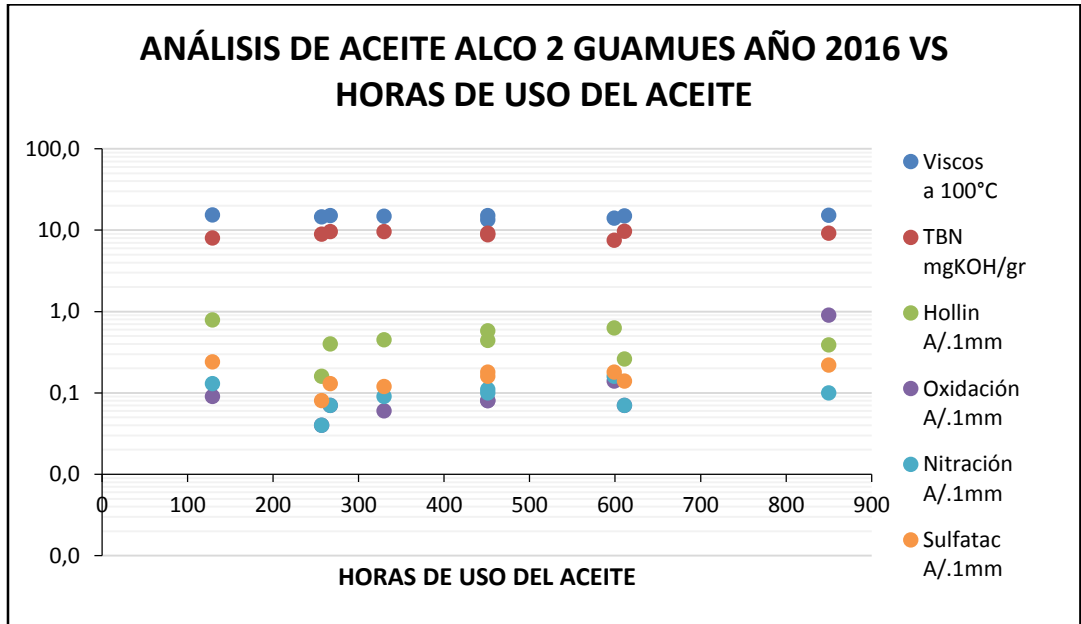


Figura 18. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 vs horas de operación del motor

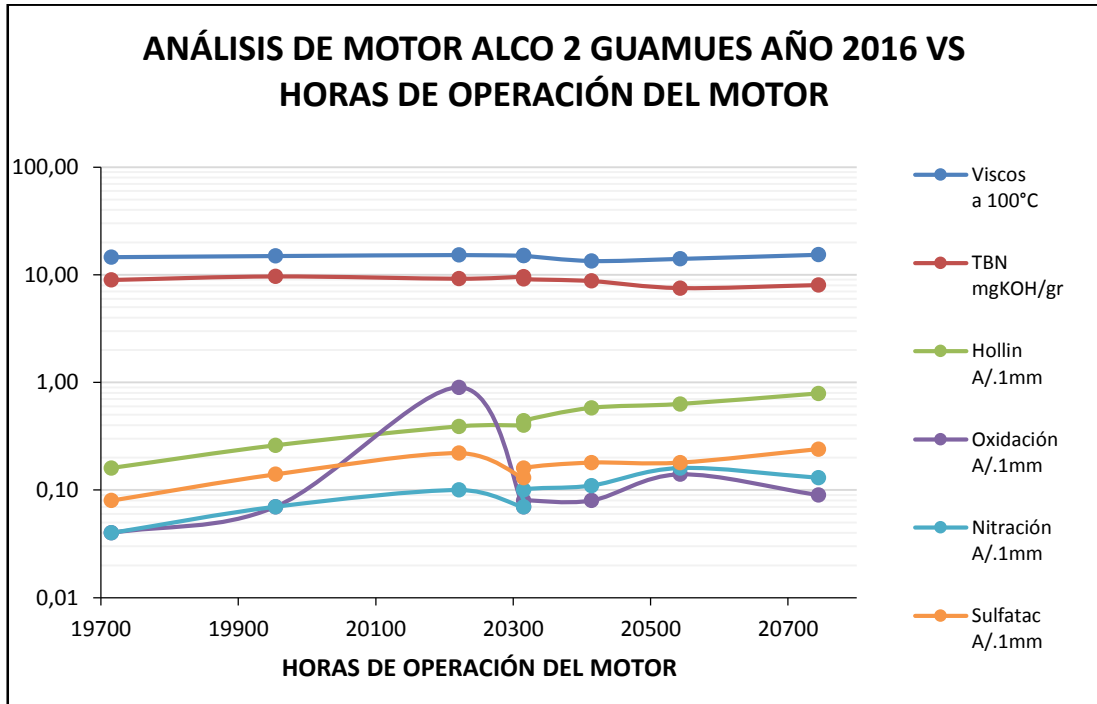


Figura 19. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2015 - Contenido Metálico – Emisión Atómica

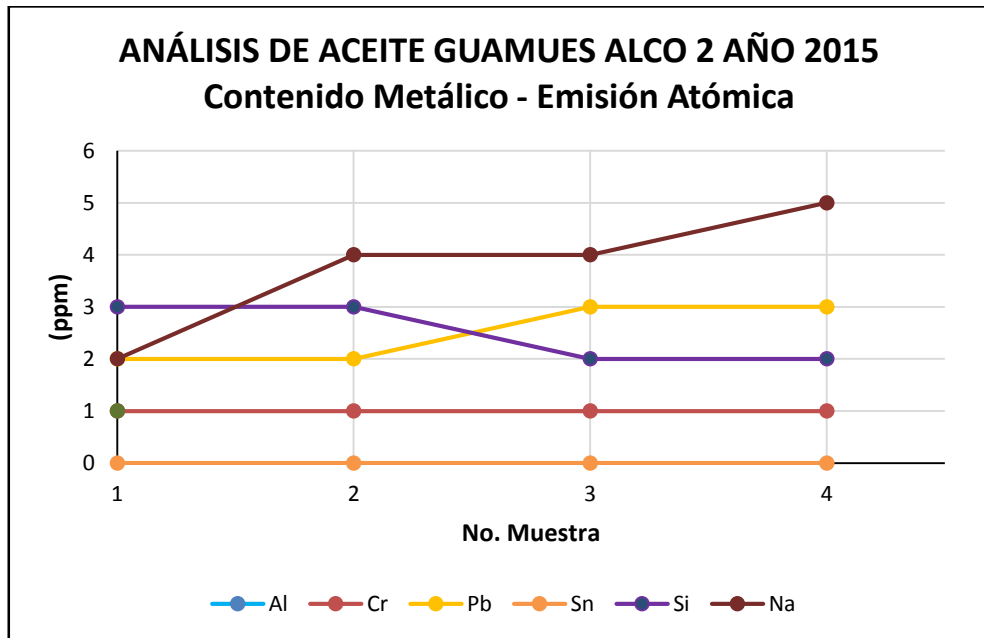
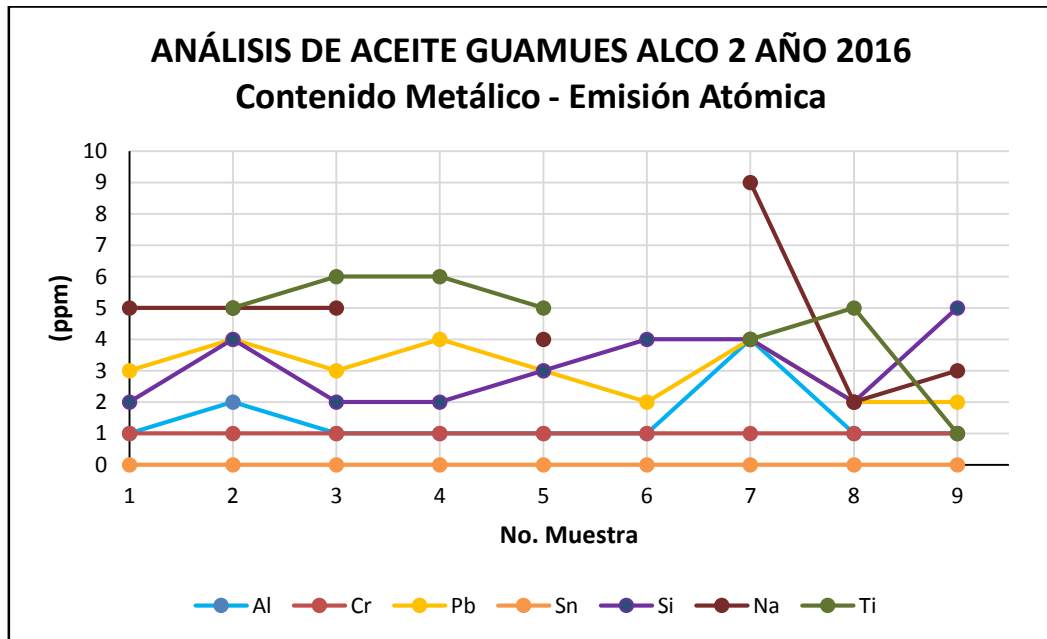


Figura 20. Análisis de aceite usado Alco 2 Guamues año 2016 - Contenido Metálico – Emisión Atómica



De los análisis de aceite usado en el motor Alco No 2 de planta Guamues se puede observar que no existe variación en los resultados de los diferentes parámetros habiendo implementado el autoconsumo de combustible, como también se puede observar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos para una operación eficiente del aceite

Una vez analizados los datos de los análisis de aceite usado de cada uno de los motores se evidencia que no existen cambios en el comportamiento del aceite y que todos los parámetros analizados en laboratorio se encuentran dentro de los límites permisibles correspondiente a un normal funcionamiento, lo que hace evidente que el cambio de combustible diésel por el autoconsumo, Fuel Oil No 4, no alteran la mantenibilidad de los motores, conservándose las mismas rutinas de mantenimiento.

La viscosidad de los aceites usados y los demás parámetros indican que el aceite en todos los motores aún se encuentra en condiciones óptimas para su uso

14. PROPUESTA AL MANTENIMIENTO

En primer lugar con el desarrollo de este trabajo se puede afirmar que el cambio de combustible diésel por el autoconsumo, Fuel Oil No 4, no afecta ni la operación ni la mantenibilidad de los motores de las unidades principales de bombeo de las plantas Orito y Guamues

El análisis de datos obtenidos nos permite hacer las siguientes propuestas de mantenimiento:

- Hacer una revisión de las frecuencias de las rutinas de mantenimiento, con el propósito de aumentar el número de horas, bien sea para disminuir la cantidad de rutinas, como también alargar el OVERHAUL del motor.
- El cambio de filtros se hace cada 840 horas, para lo cual se propone incluir la medición del sucio de los filtros, el cual se puede realizar con una medición de diferencial de presión entre la entrada y salida de cada filtro, de tal manera que permita alargar la vida del filtro sin disminuir la eficiencia del motor.
- Hacer uso eficiente del análisis de aceite usado para prolongar la vida útil del aceite, teniendo en cuenta que la viscosidad y los demás parámetros físico químicos del aceite, como también las muestras de los metales por desgaste indican que el aceite que se retira de los motores aún cuenta con características óptimas de operación, independiente de las horas de operación del motor.
- Realizar un taller especializado para evaluar las horas del OVERHAUL y proponer un aumento de las horas de esta rutina.

15. CONCLUSIONES

Se realizó una descripción del combustible de autoconsumo con sus datos teóricos, incluyendo también los datos de análisis de laboratorio para la muestra del combustible de autoconsumo, identificando que cumple con lo especificado para un combustible Fuel Oil No 4. Al validar los datos del combustible de autoconsumo se pudo evidenciar que las especificaciones superan el combustible diésel comercial, el cual de acuerdo a lo teórico es caracterizado como Fuel Oil No 2.

A partir del modelo de mantenimiento actual que cuentan los equipos y los protocolos establecidos en el manejo del software de mantenimiento se procedió a describir el mantenimiento actual y con el desarrollo de esta monografía se pudo realizar una serie de recomendaciones para optimizar dicho mantenimiento.

Se realizó la descarga de datos de los equipos y componentes del software de mantenimiento SAP, relacionados con las unidades de bombeo de planta Orito y Guamues, los cuales se validaron con los componentes de las unidades principales de bombeo y se listaron con la calificación de criticidad en el sistema.

Las plantas cuentan con estudio de actualización de la estrategia de mantenimiento fundamentado en análisis de riesgo, seguridad de procesos y análisis con el método FMECA para una adecuada selección de equipos, componentes y repuestos críticos.

Se tomaron como referencia las rutinas de mantenimiento, que incluyen dos factores tenidos en cuenta en esta monografía, los cuales son el mantenimiento del sistema de inyección de combustible y el análisis del aceite usado. Elementos que fueron

básicos para evidenciar algún impacto sobre el mantenimiento al implementar la unidad de autoconsumo de combustible.

Las rutinas de mantenimiento al sistema de inyección de combustible, no mostraron diferencia, ni en el sistema de filtración, ni en los componentes de inyección, al realizar el cambio de combustible.

Con el análisis de aceite usado que es considerado como una herramienta del mantenimiento predictivo, que muestra el conocimiento exacto del motor y de todo lo que rodea al mismo, no se vieron diferencias en los resultados que pudieran indicar un cambio en la mantenibilidad de los motores al realizar el cambio de combustible con la implementación de la unidad de autoconsumo.

Con la frecuencia en las rutinas no se evidenció cambio en la mantenibilidad de los motores de las unidades principales de bombeo de las plantas Orito y Guamues, sin embargo se evidenció que las rutinas son muy conservadoras, mostrando datos similares en los resultados de los análisis observados.

Con el desarrollo de esta monografía se pudo proponer recomendaciones que le pueden ayudar al mantenedor a optimizar las rutinas de mantenimiento y hacer un uso más productivo con los resultados de los análisis del aceite usado.

BIBLIOGRAFIA

MESA GRAJALES, Dairo H.; ORTIZ SÁNCHEZ, Yesid; PINZÓN, Manuel. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento, EN: Scientia Et Technica, mayo, 2006, vol. XII, núm. 30, p. 156-158

ECOPETROL S.A – VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE Estudio de actualización de la estrategia de mantenimiento para la planta Orito, Bogotá, Febrero de 2014.

ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC-. EN: Especialización de gerencia de mantenimiento. Bogotá: UIS 2013

ECOPETROL Matriz de Evaluación de Riesgos (ECP-DRI-F-045)

ECOPETROL Guía para la Administración de Seguridad de Procesos (ECP-DHS-G-019)

ECOPETROL Procedimiento para Identificar Componentes, Equipos y Sistemas Críticos de Seguridad de Procesos (ECP-VST-O-PRO-PT-001)

VT VIBRATEC S.A, [en línea] disponible en: <http://www.vibratec.net/pages/tecnico5_anaaceites.html>

TORMOS, Bernardo, Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado, [en línea] disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/213448265/ANALISIS-DE-ACEITES-EN-MOTORES-DIESEL>>

ANEXOS