

Estudio de Factibilidad Para el Aumento de Intervalo de Cambio de Aceite en Motores de Combustión Interna de la Estación Monterrey de Transporte de Hidrocarburos.

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Autor Ingeniero William Narciso Ortega Lubo

Director Ingeniero Juan Fernando Álvarez Hurtado

Especialización en Mercadeo

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Yopal

Febrero de 2022

Agradecimientos

Agradecimiento especial a Dios en quien confi3 mis planes y proyectos, a mi familia por su apoyo y constancia, al ingeniero Juan 3lvarez director del proyecto por su ayuda y disposici3n para el desarrollo y la universidad Industrial de Santander por su apoyo tecnol3gico y brindar excelentes herramientas para la formaci3n.

Tabla de Contenido

	Pág.
Glosario.....	7
Índice Cuantificador de partículas (PQI):.....	7
Índice de acidez (HIGH):.....	7
Índice Cuantificador de partículas (PQI):.....	7
Numero base (BN):.....	7
Nitración:	7
Descripción	8
Abstract	9
Description:.....	10
Introducción	11
Objetivos General	13
Objetivos Específicos.....	13
Materiales y Métodos.....	14
Desarrollo.....	17
Marco conceptual.....	17
Situación	19
Conclusiones.....	33
Recomendaciones	38
Referencias Bibliográficas	39
Apéndices.....	40

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1	14
Tabla 2	24
Tabla 3	26
Tabla 4	34

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1	15
Figura 2	16
Figura 3	20
Figura 4	20
Figura 5	21
Figura 6	22
Figura 7	23
Figura 8	24
Figura 9	25
Figura 10	27
Figura 11	28
Figura 12	29
Figura 13	30
Figura 14	31
Figura 15	32
Figura 16	35
Figura 17	36
Figura 18	37
Figura 19	38

Lista de Apéndices

Apéndice A	40
Apéndice B.....	41

Glosario

Índice Cuantificador de partículas (PQI): el índice mide la masa de partículas metálicas (ferromagnéticas) en la muestra. Residuos de desgaste, condiciones de choque / sobrecarga, la contaminación metálica, filtros sucios.

Índice de acidez (HIGH): es una medida de la acumulación de compuestos de oxidación ácidos nocivos producidos por la degradación del aceite.

Índice Cuantificador de partículas (PQI): el índice mide la masa de partículas metálicas (ferromagnéticas) en la muestra. Residuos de desgaste, condiciones de choque / sobrecarga, la contaminación metálica, filtros sucios.

Numero base (BN): el número base es una medida de la capacidad de un aceite para neutralizar compuestos ácidos nocivos producido durante el proceso de la combustión.

Nitración: la nitración es una medida de la cantidad de subproductos de nitrógeno en el aceite. La cuantificación de la nitración puede proporcionar información invaluable sobre la probabilidad de formación de depósitos debido a la descomposición del aceite.

Oxidación: la cuantificación de la oxidación puede proporcionar información invaluable sobre la probabilidad de formación de depósitos a partir de la descomposición del aceite. Algunas causas son sobrecalentamiento, drenaje de aceite demasiado extendido, aceite inadecuado en servicio, subproductos de combustión.

Viscosidad: La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a fluir a una temperatura dada en relación con el tiempo.

Resumen

Título: Trabajo de grado, Estudio de Factibilidad para el Aumento de Intervalo de Cambio de Aceite en Motores de la Planta Monterrey de Transporte de Hidrocarburos.

Autor: Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Ingeniero William Narciso Ortega Lubo, director Especialista en Mercadeo, Ingeniero Juan Fernando Álvarez Hurtado.

Palabras Clave: Mantenimiento Predictivo, Análisis de aceite, Extensión de vida de aceite motor, monitoreo de condición.

Descripción

La Estación de Rebombeo de Hidrocarburos ubicada en Monterrey, Casanare; cuenta con equipos de combustión interna de entre 500 y 4050 (BHP) Caballos de potencia al freno, las bombas principalmente de desplazamiento positivo, tipo triple tornillo, son movidas por motores a gas natural que utilizan grandes cantidades de aceite motor, según recomendaciones de fabricante, los cambios de aceite se deben realizar en promedio cada 750 horas de servicio, es decir, cada 31 días se estaría reemplazando 1500 galones de aceite con un costo aproximado de \$ 220.000.000. El seguimiento de los resultados de las muestras de aceite indica que el aceite a las 750 horas de servicio se encuentra en buenas condiciones y se inicia un seguimiento para llevar el aceite hasta las 2000 horas de servicio; el principal propósito de este proyecto de grado es presentar las recomendaciones de ampliación de intervalos de cambio de aceite en los motores a

gas de la estación Monterrey, Incluyendo los soportes técnicos extractados del monitoreo de aceite realizado a través de los resultados de laboratorio, incluyendo además unas recomendaciones que permitirán un mejor resultado en el desempeño y duración de los equipos. Se tiene la autorización para el seguimiento de un piloto de prueba de dos unidades con monitoreo quincenal de muestra de aceite, sin embargo, se realizará un seguimiento a 10 equipos en total para seguimiento de resultados en especial para identificar las diferencias tanto en operación como en condiciones de mantenimiento que permitan que el aceite llegue a superar el estándar de frecuencia de cambio de aceite. el laboratorio esta alertado para la recepción de las muestras y el seguimiento de resultados de forma oportuna para actuar sobre el equipo en caso de alguna novedad específica que pueda afectar la integridad del equipo; el seguimiento exhaustivo permitirá identificar las alertas importantes que puedan indicar que la extensión de la frecuencia de cambio de aceite pueda afectar significativamente la integridad de los motores.

Abstract

Title: Degree work, Feasibility Study for Increasing the Oil Change Interval in Engines of the Monterrey Hydrocarbon Transportation Station.

Author: School of Mechanical Engineering, Specialization in Maintenance Management

Author (1), Industrial Engineer William Narciso Ortega Lubo, director **

Key Words: Predictive Maintenance, Oil Analysis, Oil Engine Life Extension, Condition Monitoring.

Description:

the Hydrocarbon Repumping Station located in Monterrey, Casanare; It has internal combustion equipment of between 500 and 4050 (BHP) Brake horsepower, mainly positive displacement pumps, triple screw type, are driven by natural gas engines that use large amounts of motor oil, according to manufacturer recommendations , the oil changes should be carried out on average every 750 hours of service, that is, every 31 days it would be replacing 1,500 gallons of oil with an approximate cost of \$ 220,000,000. Tracking the oil sample results indicates that the oil at 750 service hours is in good condition and a trace is started to carry the oil up to 2000 service hours; The main purpose of this degree project is to present the recommendations for the extension of oil change intervals in the gas engines of the Monterrey station, including the technical support extracted from the oil monitoring carried out through the laboratory results, also including some recommendations that will allow a better result in the performance and duration of the teams. Authorization is granted to monitor a test pilot of two units with biweekly monitoring of the oil sample, the laboratory is alerted to receive the samples and monitor the results in a timely manner to act on the equipment in case of any problems. A specific novelty that may affect the integrity of the equipment, however it is expected that there will be no important alerts that may indicate that the extension of the frequency of oil changes could significantly affect the integrity of the engines.

Introducción

De acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio de los aceites cambiados de acuerdo a la frecuencia estimada por el fabricante de la máquina, se obtiene que el aceite conserva las propiedades de acuerdo a los límites condenatorios, es decir, que se puede extender la frecuencia de los cambios de aceite de forma gradual asegurando el monitoreo de las tendencias de desgaste o degradación del aceite, durante el informe se presentaran los resultados actuales y anteriores de los análisis, para el soporte necesario que da la justificación al presente proyecto, el propósito principal es optimizar el insumo del aceite, y cuantificar los ahorros en tres aspectos, parada de equipo estimado en (barriles por hora) para cambiar el aceite motor, ahorros representados en dinero y optimización del recurso aceite, tanto los residuos generados líquidos y metálicos como la validación de la vida útil.

Es importante mencionar que el fabricante de los motores Waukesha propiedad de General Electric, realizo la transferencia de la parte de energía al grupo de capital privado Advent International por un valor de 3.250 Millones de dolares (Bussineswire, 2018). Innio desde el departamento de ingeniería formalizaron cambio significativos en los límites condenatorios del aceite lubricante, sugiriendo que el cambio de aceite se aumente a mayor frecuencia con más horas de operación, pero este documento no es suficiente insumo para alcanzar este objetivo con motores que sobre pasan las 70 mil horas de operación, además se requiere que los motores operen bajo parámetros estandarizados sin exceder la carga y no se permita el trabajo en vacío, lo que conduciría a altas temperaturas y degradación temprana, así

como la generación de oxígeno por combustión incompleta y hollín de la ceniza sulfatada en exceso característico de este tipo de aceite. El mantenimiento es un ítem importante para que el aceite lubricante mantenga sus propiedades a lo largo de la operación, los motores waukesha de la serie 4, son motores de combustión rica, es decir requieren que el oxígeno en el escape sea mínimo para lograr control de emisiones de CO₂; este ajuste se da durante el arranque del motor en su fase de calentamiento en vacío (sin carga) y se completa a máxima carga disponible, el ajuste se hace directamente en el carburador y en los actuadores electrónicos de las válvulas reguladoras de gas (Stepper); se menciona esta actividad de mantenimiento para evidenciar la importancia de los ajustes y las intervenciones efectivas de mantenimiento, en relación a la vida del aceite lubricante y los resultados de este ejercicio.

Sin embargo, esta condición de ajustes del motor ideal no se da por varios aspectos, entre ellos, falta de competencia de los mantenedores, falta de repuestos, falta de literatura técnica u otros aspectos relacionados a mantenimiento, la ventaja respecto a la carga del motor es que esta se encuentra superior al 65% permitiendo una normal condición de la lubricación.

Otro aspecto importante es la toma de la muestra de aceite, anteriormente al ejercicio se realizaba con bomba de succión directamente al carter, obteniendo datos erróneos del aceite en uso y por esta razón y para efectos del informe se realiza la toma de la muestra representativa directamente de un conducto principal, aguas abajo de la bomba de aceite y aguas arriba de la filtración.

Objetivos General

Entregar los datos recolectados de los seguimientos, comportamiento, oportunidades de mejora, lecciones aprendidas para establecer la extensión de los cambios de aceite en los motores de la estación de rebombeo de hidrocarburos de Monterrey Casanare, basados en el documento de límites condensorios emitido por Waukesha (fabricante de motor) y las recomendaciones del laboratorio. Principalmente bajo la norma ASTM D5185, para contaminantes del aceite, desgaste de metales y aditivos; ASTM E2412 mediante Peak Área Method para Oxidación y Nitración y ASTM D445 para Nitración, principalmente.

Objetivos Específicos

Mejorar los puntos de muestra, actividad de recolección de la muestra de aceite, identificarla y relacionarla correctamente al equipo.

Realizar seguimiento y respuesta oportuna a los resultados de la muestra de aceite y realizar los correctivos necesarios de acuerdo con las recomendaciones del laboratorio.

realizar la extensión de la frecuencia de aceite y el respectivo seguimiento a los equipos pilotos, así como proyectar ahorros estimados en lubricantes, hora de parada de máquina.

Estimar el comportamiento del aceite lubricante hasta las máximas horas de operación con límite a 4000 horas, incluir el mantenimiento correctivo referente a alertas y

precauciones de los resultados, así como los posibles impactos de la extensión de la vida útil del aceite en relación con el mantenimiento que conlleva a la degradación del aceite, así como el seguimiento a la operación de los equipos.

Materiales y Métodos

El aceite se identifica de varias maneras: American Petroleum Instituto (API), Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) clasificaciones de desempeño y designación militar. Dado que no hay récord del desempeño del aceite en la industria de los motores a gas existen designaciones, es responsabilidad del operador del motor verificar con su proveedor de aceite, que el aceite que selecciono tiene un desempeño de campo probado en sus aplicaciones específicas marca y modelo del motor. Este aceite también debe cumplir con los requisitos mínimos especificados por Waukesha como enumerados en la Tabla 1.

Tabla 1

Aceite recomendado para Motores a Gas

Modelo	Sulfato ASH% (1,2,3)
VHP SERIE S GAS ENGINES	
VHP L5794, L7042, F3521	0,35 - 1,0

Notas: (1) Los aceites deben estar formulados específicamente para motores de gas. usando stocks base de aceite mineral altamente refinados. Los requisitos de ceniza son un

porcentaje en peso con aditivo metálico y sin cenizas sistemas Se recomienda un máximo de 0,10% de zinc.

(2) El aceite con 0,35 % de cenizas o menos se puede usar en motores de aspiración natural. y motores turbo cargados o de aspiración natural equipados con catalizador con el entendimiento de que la recesión de la válvula puede ocurrir, por lo tanto, acortando la vida útil esperada normalmente de la válvula y el asiento.

(3) Use aceite de cenizas al 1,0% para los motores VHP y AT solo si es necesario debido a tasas de recesión de válvulas más altas de lo normal. Tomado de (Innio, 2021).

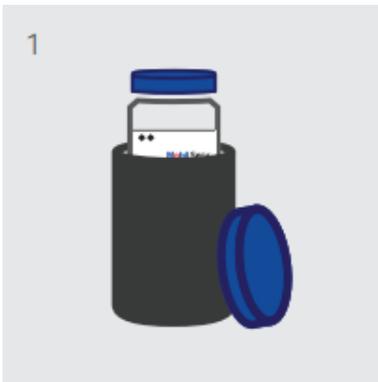
Tanto el dueño del equipo como el distribuidor del lubricante deben tener claro toda la información del tipo de motor, y el tipo de aceite para llevar una correcta trazabilidad.

Las herramientas utilizadas para llevar el ejercicio de seguimiento del aceite, la vida útil y su respectivo análisis, son:

1. Envase para toma de muestra de aceite para envió a laboratorio

Figura 1

Envase Para Toma de Muestra de Aceite



Nota: Exxon Mobil, 2015, instructivo simple scan mobil serv, envase para muestra, Tomado de (Corporation, 2016).

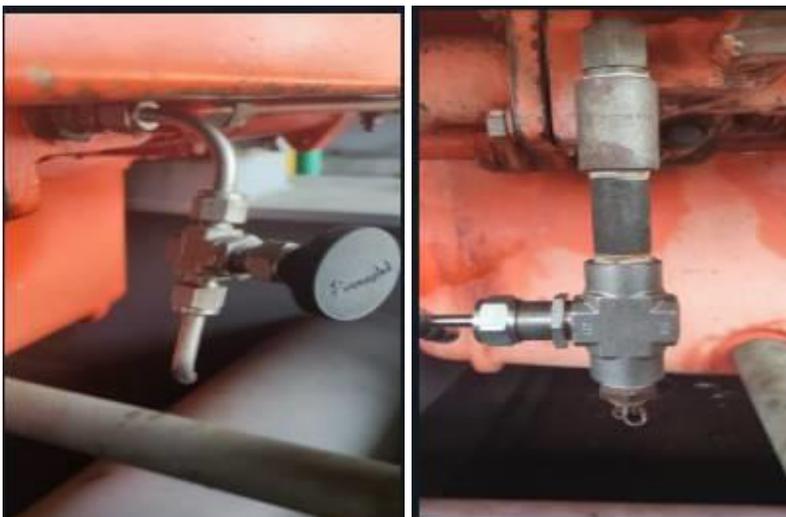
- Válvulas de aguja para instalación en los equipos piloto en puntos donde el fabricante recomienda para obtener una muestra representativa. con el aceite a temperatura de operación.
- Se establece un programa de muestreo, integrando el cronograma con su mantenimiento planificado con 15 días de frecuencia.
- Se Muestra desde el mismo punto de muestreo y en un intervalo de muestra constante.
 - Siguiendo buenas técnicas de limpieza.

El análisis de laboratorio busca partículas en tu aceite

muestra de menos de 8 micrones de tamaño, que normalmente no son visibles

Figura 2

Válvula de Aguja, Doble y Robusta, Punto de Muestreo.



Nota: es importante mencionar que para efectos de este estudio de factibilidad no se tendrá en cuenta la metodología de la extracción de la muestra de aceite desde el cárter con bomba de vacío, ya que por experiencia; el ducto donde se toma la muestra de lubricante contiene partículas contaminantes como polvo (silicio) o rastros de corrosión y desprendimiento de material, aunque mínimo; si es representativo porque inmediatamente contamina la muestra y queda registrado la alerta luego del envío a laboratorio y este resultado queda en la trazabilidad del equipo como una posible falla. Elaboración propia.

2. Equipo de cómputo para el registro de la muestra y el seguimiento de esta.
3. Memoria portátil USB de 1 Gb para almacenamiento de la información.

Desarrollo

Marco conceptual

El aceite es considerado como la sangre del motor haciendo la analogía a esta principal fuente de vida del cuerpo humano, así como lo es el aceite para la vida y buen funcionamiento del motor, continuando con las similitudes puntuales, el análisis de aceite es un examen para indicar el comportamiento del motor durante su operación o incluso estando en estado de reposo, así como las anomalías detectadas durante diferentes pruebas, la idea principal es validar si la interrelación de los dos y su buen desempeño logran mantener en buenas condiciones y con buena confiabilidad los motores que específicamente son razón de este estudio.

Para no dejar al azar, por el contrario, darle la importancia necesaria al análisis de aceite, se encontró en este tópico, la forma de optimizar, mejorar, realizar trazabilidad, dar mejora

continua, aprender de las lecciones para lograr optimizar y extender la vida del aceite motor, representado en ahorros y en mejor rendimiento tanto de la maquina como de su lubricante.

Ya se conocen casos de éxito, sobre el tema en flotas de camiones en especial del sector minero, ya que por sus reservorios grandes, la cantidad de aceite que usan para su funcionamiento es considerable, por ende lograr el máximo aprovechamiento de lubricante y observar de cerca el comportamiento del motor y sus componentes internos, es un aprendizaje que vale la pena llevar a cabo, ya que las recomendaciones que puedan surgir de este ejercicio, son para la implementación completa en la totalidad de los equipos con iguales características por su combustión, tipo de aceite, recomendaciones de fabricante para sus rutinas y los costos totales ahorrados así como los residuos que se dejaría de producir.

El análisis de aceite es una actividad que va de la mano con el fabricante del lubricante para nuestro caso, que en ocasiones suena absurdo que una empresa se preste para que su cliente consuma menos, pero que, por razón de ser, llevar un aceite a su máximo aprovechamiento entrega mejores resultados a mediano y largo que plazo que el dinero que se pueda obtener por la venta de aceite motor.

Por último, la implementación de la rutina de muestras y análisis de aceite, desde la toma misma, etiquetado, envió, estudio de la muestra, interpretación de resultados y correctivos basados en las recomendaciones del laboratorio hace parte de los objetivos específicos, aunque separados unos de los otros por fases, el logro de cada uno de ellos, llevan al objetivo principal

transformado en confiabilidad, aprendizaje, ahorros, optimización y mayor disponibilidad de los equipos.

Situación

Actualmente los cambios de aceite Mobil Pegasus 805 se hacen cada 2000 horas aproximadas de trabajo de acuerdo con recomendaciones de fabricante. El objetivo del seguimiento realizado es aumentar este intervalo manteniendo la confiabilidad, disponibilidad, duración y desempeño de los equipos.

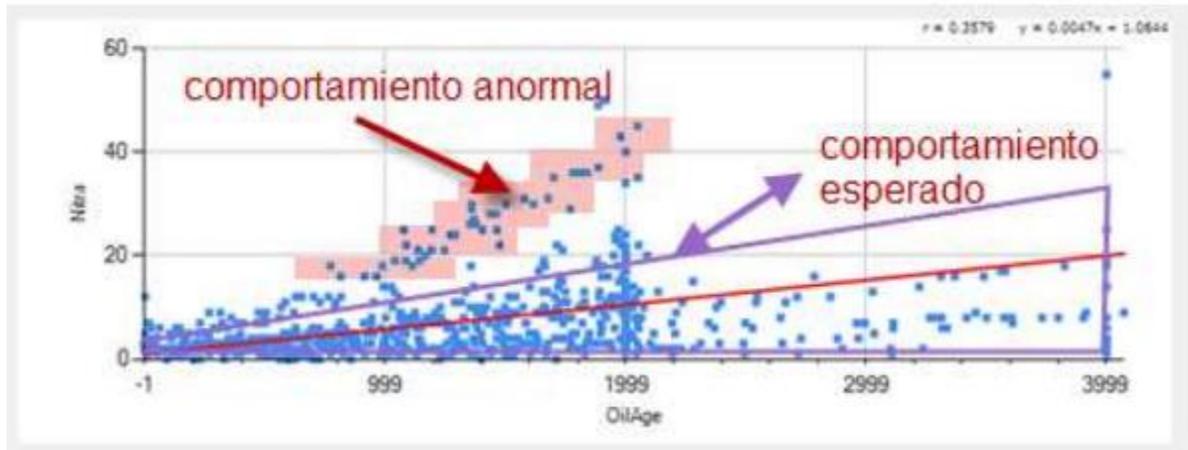
Las recomendaciones principales son:

1. Instalación de los puntos de muestreo, donde el aceite se encuentre en circulación y preferiblemente antes de la filtración.
2. Establecer los equipos objetivo, sin embargo, se llevará a cabo el monitoreo en la mayoría de los motores ya que indiferente del resultado lo esencial de esta rutina predictiva es realizar un seguimiento responsable a la vida del aceite de todos los motores en operación y se extenderá el cambio de aceite dependiendo del resultado obtenido.
3. Aumentar los periodos de cambio del Mobil Pegasus 805 a 4000 horas en los motores Waukesha o a condición donde se supere el límite superior recomendado.
4. Mantener el monitoreo de laboratorio, permitiendo la detección de posibles fallas, ajustando el periodo de cambio y realizando los correctivos que eviten fallas mayores.

Figura 3

Ejemplo de Tendencia de Resultados, Utilizando la Herramienta Data Harvester de Exxon

Mobil



Nota. En condiciones de operación normal, no se presentan fallas por alta nitración. El 96.9% de las pruebas de nitración se encontraron en valores normales luego de 2 mil horas de trabajo. Tomado de (Corporation, 2016).

Figura 4

Pruebas de Nitración Seguimiento Durante 2000 Horas de Trabajo.

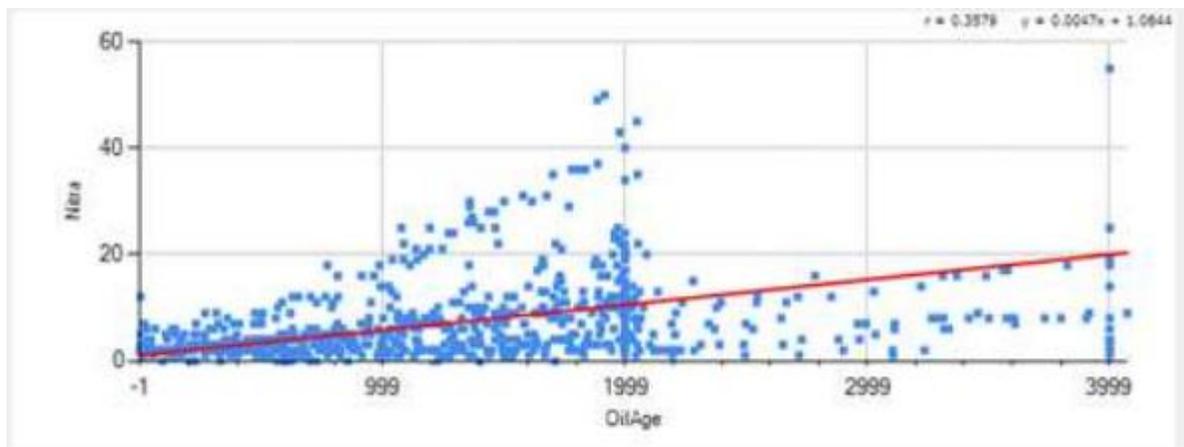


Igualmente, la tendencia de aumento de nitración, indica que, en 4 mil horas de trabajo, tan solo el 2% de las muestras presentaron valores altos

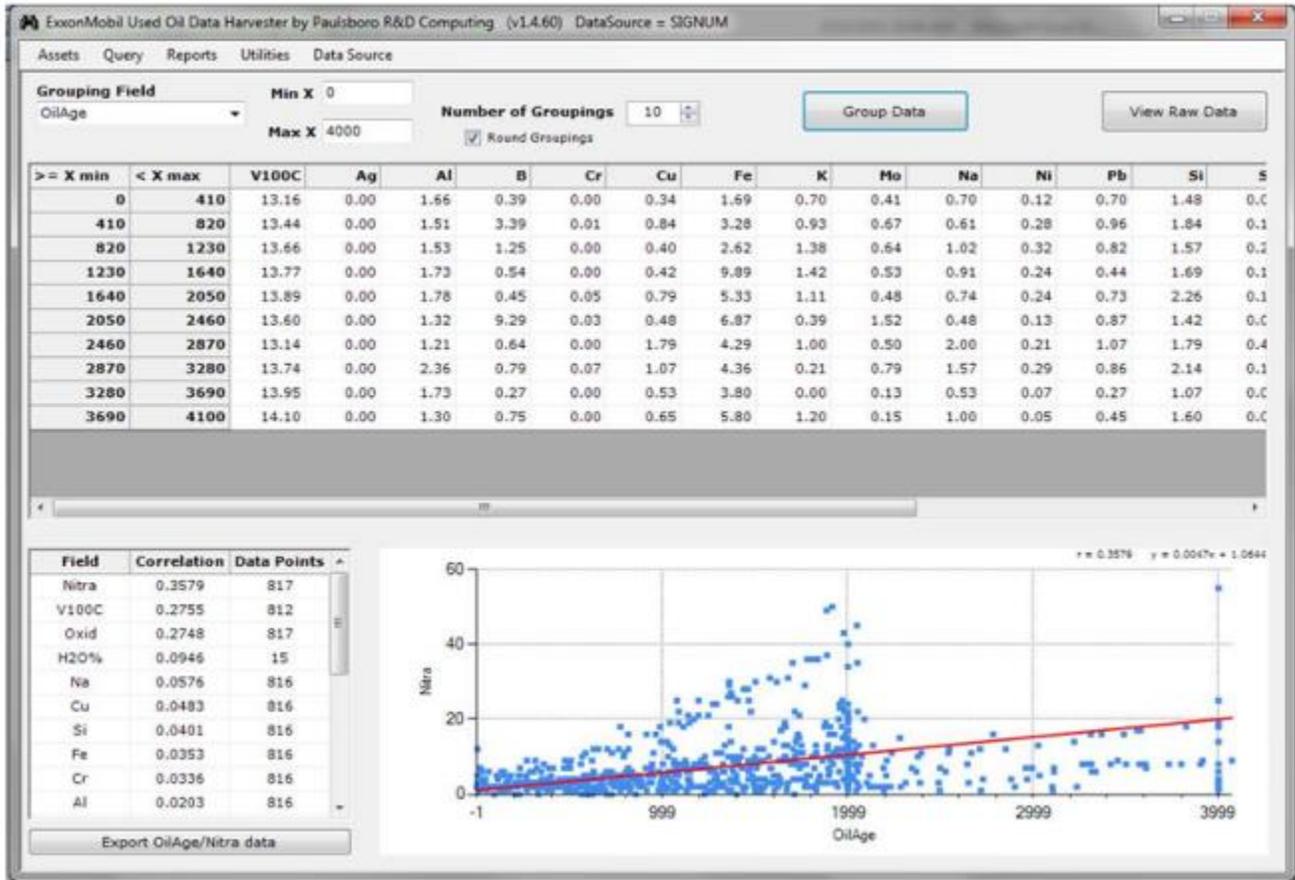
El análisis detallado de los valores altos de nitración permite detectar que las fallas, se presentaron en los equipos del sistema de recibo de la estación Apiay y despacho a la estación Altos del Porvenir (corregidos luego de las reparaciones de los sistemas de gas – aire) estos motores no se encuentran dentro del análisis de la prueba, no obstante, se grafican los resultados para la comparación con los motores bajo seguimiento. Igualmente se presentan valores altos de nitración en el equipo MPPAMON11920 por fallas de regulación de la mezcla de gas – aire y en el MPPAMON11930 por mezcla y carga fuera de parámetro: corregidas por el mantenedor. La tendencia se evidencia en la figura 5.

Figura 5

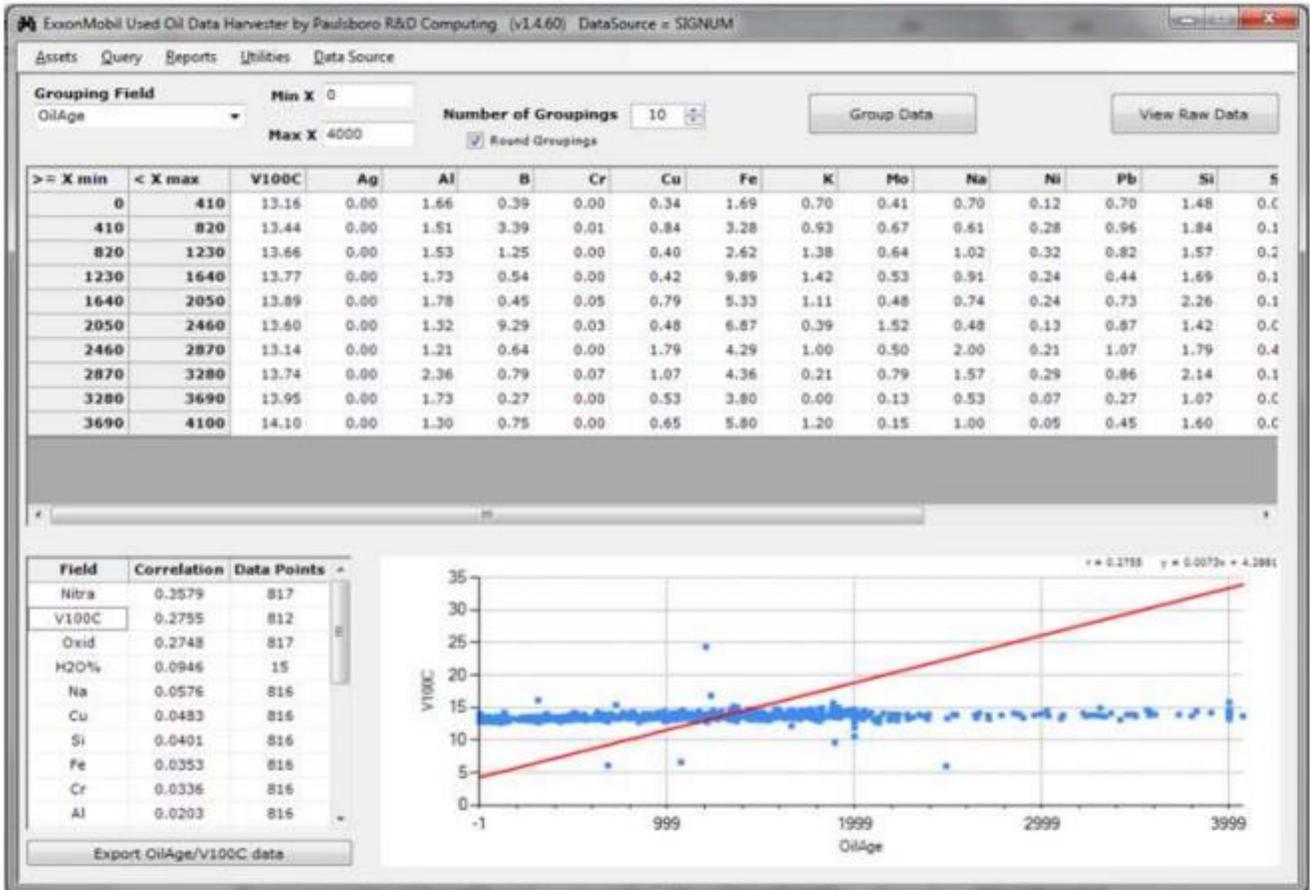
Grafica de Tendencia de Nitración con Extrapolación a 4000 Horas



Nota. No hay evidencia de oxidación de los aceites. El resultado del 97.5% de las muestras son valores dentro de parámetros normales.

Figura 6*Prueba Completa de Nitración*

Nota. Diagrama de dispersión de los datos de resultados de Nitración. Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Nitration Data. Yopal, Casanare.

Figura 7*Prueba de Viscosidad*

Nota. Diagrama de dispersión de los datos de resultados de Nitración. Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Viscosity Data. Yopal, Casanare.

Tabla 2

Limite Condenatorio Característico Para Viscosidad

CHARACTERISTICS:	STANDAR TEST METHOD USED	CONDEMNNIG LIMITS	
		12V/18V 220 GL	ALL OTHER INNIO WAUKESHA ENGINES
Viscosidad 40 C°	ASTM D445	50% Change	20% + 30% Change
Viscosidad 100 C°		25% Change	

Nota. Limite condenatorio tomando como referencia el aceite nuevo, tomado de (Innio, 2021).

Figura 8

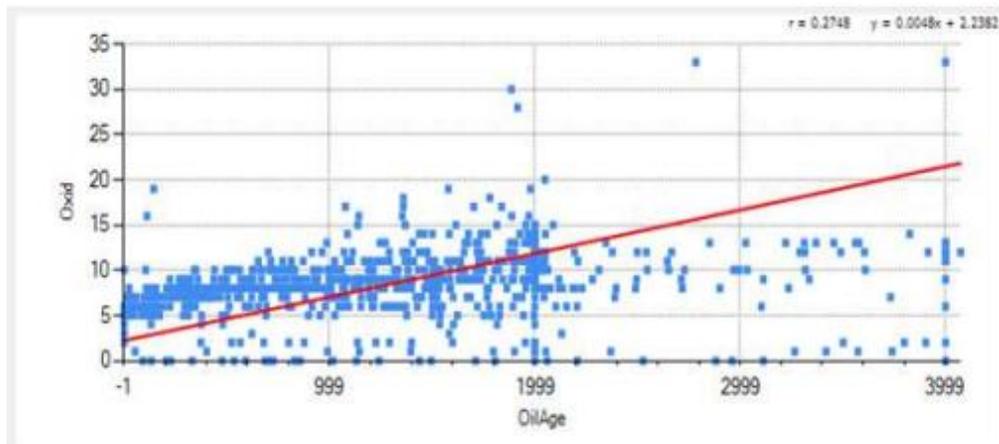
Resultados de Prueba de Oxidación



Nota. El 99.5% de las muestras se mostraron valores normales. Gráfico de resultados de Oxidación. Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Oxidation Data. Yopal, Casanare.

Figura 9

Grafica de Tendencia De Oxidación Con Extrapolación a 4000 Horas



Nota: Diagrama de dispersión de los datos de resultados de Oxidación. Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Oxidation Data. Yopal, Casanare.

El fabricante del motor indica en su documento (Innio, 2021) los valores de límites condinatorios para el análisis métrico característico para Nitración y Oxidación, el cual se indica en la tabla 4.

Tabla 3

Limite *condenatorio* característico para *Nitración* y *Oxidación*

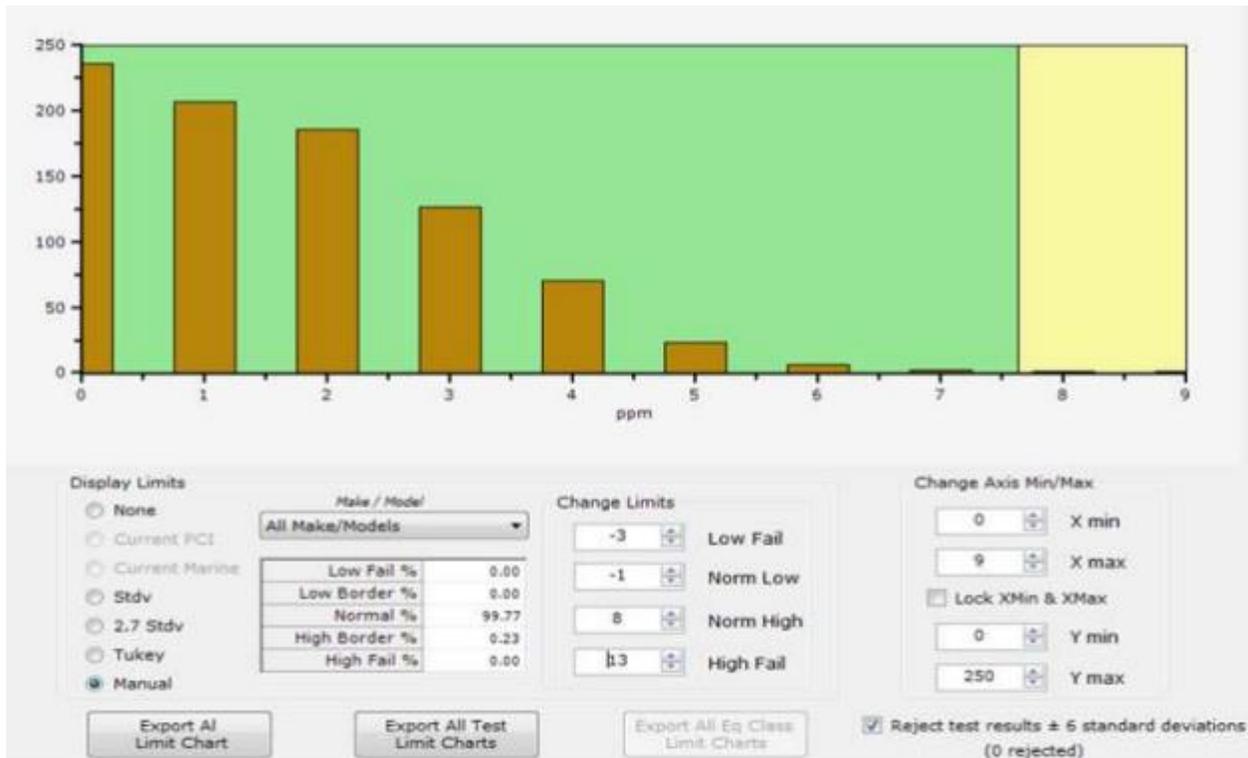
CHARACTERISTICS:	STANDAR TEST METHOD USED	CONDEMNIG LIMITS	
		12V/18V 220 GL	ALL OTHER INNIO WAUKESHA ENGINES
Oxidation	ASTM D445	40 Abs/cm* Peak Height (Single Point Baseline) Method	40 Abs/cm* Peak Height (Single Point Baseline) Method
Nitration			

Nota. * El límite de condena especificado (Abs/cm) es el cambio permitido en comparación con el aceite sin usar de la misma formulación. Valores de medición tanto en aceite usado como nuevo. Reste el valor del aceite usado del valor del aceite nuevo. Si el valor diferencial es mayor que el valor que se muestra en la Tabla 4, el aceite debe ser desechado.

No hay evidencias de desgastes anormales. Los valores de metales de desgaste se encontraron normales. El 100% de las muestras de cobre, hierro, plomo, estaban abajo de los límites. Para el caso del aluminio, este valor fue del 99.77%. No se presentaron valores de alarma en metales contaminantes (silicio y sodio principalmente) lo que indica una alta calidad en el mantenimiento y filtración de los motores. Tomado de (Innio, 2021).

Figura 10

Frecuencia de Valores de Seguimiento de Metales de Desgaste Aluminio (Al)



Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales (Aluminio).

Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste Data.

Yopal, Casanare.

Figura 11

Frecuencia de Valores de Seguimiento De Desgaste Cobre (Cu)



Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales (Cobre). Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste Data. Yopal, Casanare.

Figura 12

Frecuencia de Valores de Seguimiento de Desgaste Hierro (Fe)



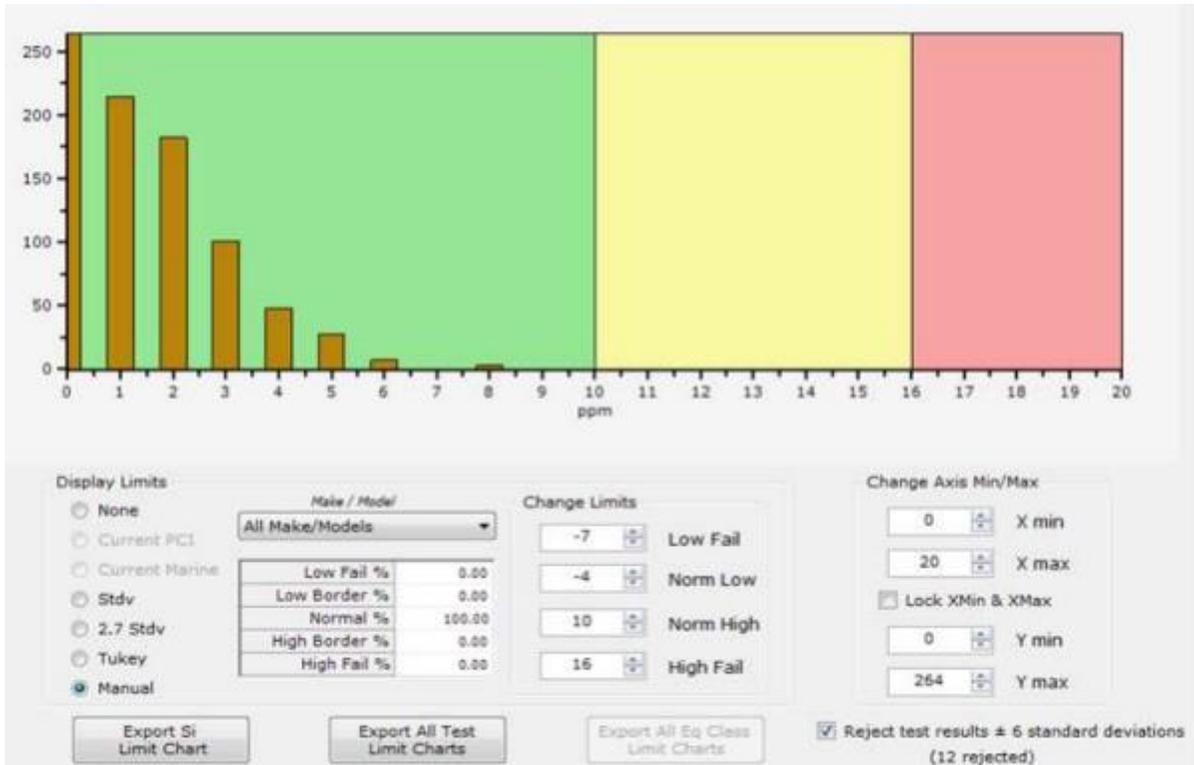
Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales (Hierro). Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste Data. Yopal, Casanare.

Figura 13

Frecuencia de Valores de Seguimiento de Desgaste Plomo (Pb)



Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales (Plomo). Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste Data. Yopal, Casanare.

Figura 14*Frecuencia de Valores de Seguimiento de Desgaste Silicio (Si)*

Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales y contaminación (Silicio). Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste / Contaminación Data. Yopal, Casanare.

Figura 15

Frecuencia de Valores de Seguimiento de Desgaste Sodio (Na)



Nota. Gráfico de resultados de valores de seguimiento de desgaste de metales (Sodio). Adaptado de, Exxon Mobil Corporation, 2021, Data Source Signum [programa], Desgaste Data. Yopal, Casanare.

Conclusiones

1. Es importante mencionar que los límites condenatorios que se manejaban hasta la fecha del informe de la monografía estaban basados en el boletín de servicio del año 2019 que indicaban valores diferentes e inferiores y estos valores estaban determinados en el laboratorio de análisis de aceite para emitir alertas y precauciones según resultado de la muestra.

De acuerdo a (Bussineswire, 2018) la fábrica de motores Waukesha pertenecía a General Electric y la compañía Innio compro la parte de generación de energía (motores de combustión interna a gas); esta última empresa ejecuto cambios significativos sobre aspectos importantes de ingeniería de los motores, entre ello, lo referente a aceite lubricante y sus límites condenatorios, sin embargo, para efecto de los resultados del análisis de las muestras para esta monografía; solo se tendrán en cuenta como referencia, ya que por experiencia cuando el aceite motor presenta alerta por altos niveles de contaminantes o variación en propiedades características y durante la revisión y seguimiento del aceite se evidencia que el aceite presenta degradación o cambios significativos en su apariencia física y en sus propiedades que pueden afectar a un corto o mediano plazo la vida de los componentes del motor. Y se dejara para discusión entre ingeniería, mantenimiento y los especialistas de la marca de aceite lubricante la decisión de aumentar gradualmente y bajo seguimiento los límites y las alertas sobre el resultado de las muestras.

Luego de un análisis estadístico de los resultados del monitoreo de aceite SIGNUM realizado en la estación durante el último año (860 muestras de aceite), se encontró que las principales variables que deben evaluarse en los lubricantes de motores a gas continúan en valores muy inferiores a los límites de precaución y su tendencia muestra que es posible la

ampliación de su periodo de uso. Además de esto, el nivel de mantenimiento de los equipos y el desempeño del lubricante utilizado, han hecho que las fallas en las variables evaluadas presenten valores muy bajos (inferiores a 1%).

La tabla 4 se muestra un resumen de los resultados del análisis de aceite desde enero de 2014, indicando el número de muestras en estado normal, en precaución o en falla de cada uno de los parámetros analizados. Como puede verse, la gran mayoría de los resultados posteriores a los cambios, se hallaron en condiciones normales.

Tabla 4

Resumen de los Resultados de los Análisis de Aceite Durante el Último Año, Como Referencia Para el Ejercicio.

Test Name	Alert	Caution	Normal	Alert %	Caution %	Normal %
PQIndex	30	11	1432	2%	1%	97%
Nitra	13	8	1518	1%	0%	99%
Si	7	20	1512	0%	0%	98%
H2O%	3	3	1533	0%	0%	100%
V100C	1	2	1531	0%	0%	100%
Al	0	6	1533	0%	0%	100%
Fe	0	4	1535	0%	0%	100%
Sn	0	1	1538	0%	0%	100%
B	0	0	1539	0%	0%	100%
Cr	0	0	1539	0%	0%	100%
Cu	0	0	1539	0%	0%	100%
K	0	0	1539	0%	0%	100%
Na	0	0	1539	0%	0%	100%
Nitra	0	0	1539	0%	0%	100%
Pb	0	0	1539	0%	0%	100%
Oxid	0	0	1539	0%	0%	100%

Nota. Fuente propia.

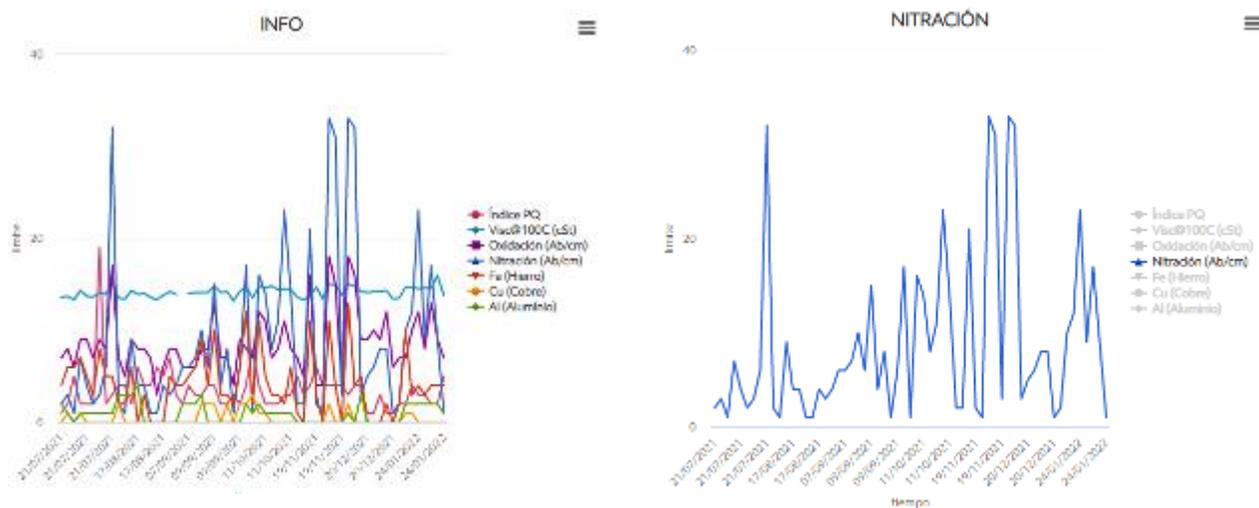
Realizando un filtro de los elementos más importantes durante los últimos 4 meses se puede determinar que el factor que más afecta al aceite es la Nitración la cual se eleva significativa y directamente proporcional a las horas de operación, esto significa que el aceite no lograría llegar a la meta de 4000 horas de operación; las causas principales son:

- regulación incorrecta del venteo del cárter
- problemas internos de los segmentos y anillos del motor, así como desgastes de cilindros.
- Fallas en culatas y perdida de compresión.
- Falla de los reguladores automáticos de gas.
- Falla de los carburadores.
- Falla de los posicionadores electrónicos de los reguladores

Por consiguiente, la relación vida del aceite – mantenimiento del motor es fundamental para llevar cabo pruebas con resultados en ahorros importantes, así como lograr una correcta operación y funcionamiento de los motores.

Figura 16

Tendencia de Resultados de Muestras de Aceite



Nota: la tendencia de Nitración es la más representativa en cuanto a afectación y degradación del aceite, como lección aprendida se tiene seguimiento de los motores con más tendencia y efectos como oxidación acelerada, subproductos ácidos formados, Cilindro aumentado y desgaste de válvulas, espesamiento del aceite, depósitos del área de combustión, aumento del número de ácido. Imágenes tomadas de (ExxonMobil, 2021).

2. Se logra migrar a la toma de la muestra de aceite desde una válvula en un conducto de circulación del aceite lubricante a temperatura de operación, esto impacta positivamente los resultados de la muestra y disminuye costos de la actividad de muestreo ya que no se requiere manguera, sellos en buna o neopreno y además se disminuyen los desechos plásticos contaminados.

Figura 17

Eliminación de Muestreo Con Bomba de Vacío, Disminución de Costos de la Actividad.



Imagen adaptada de (Corporation, 2016), bomba de vacío para muestreo de aceite en servicio.

3. La implementación de las recomendaciones presentada, pueden generar en la estación Monterrey beneficios anuales calculados de más de 256 millones de pesos. Este ahorro se

calcula con base en las unidades Waukesha de bombeo y del descargadero. Los beneficios se generan por menor uso de lubricante, mayor disponibilidad de los equipos para bombeo y menor requerimiento de mano de obra. Otros beneficios como menor impacto ambiental no se incluyen en el presente cálculo. Con el cambio, el desempeño, rendimiento y duración de los equipos no se verá impactado.

Figura 18

Cálculos de Beneficios, Consolidado de Proyección de Ahorros en Toda la Estación Proyectados a un Año.

Equipo Marca	Equipo Modelo	Reducción de gastos Materiales - \$ CoP	Aumento de ingresos por menores paros de bombeo \$ COP	Mejora de procesos - reducción mano de obra - \$ CoP	Ahorros / beneficios \$ CoP
WAUKESHA	L5794GSI - bombeo	\$ 91,752,415	\$ 65,594,880	\$ 1,412,988	\$ 158,760,283
WAUKESHA	F3524 GSI - bombeo	\$ 14,189,150	\$ 19,678,464	\$ 529,871	\$ 34,397,485
WAUKESHA	F18 GSI - bombeo	\$ 17,251,462	\$ 16,398,720	\$ 883,118	\$ 34,533,300
WAUKESHA	L5794GSI - Descargadero	\$ 27,930,515	\$ -	\$ 430,130	\$ 28,360,645
Total Ahorros		\$ 151,123,542	\$ 101,672,064	\$ 3,256,106	\$ 256,051,712

TOTAL BENEFICIOS OPERACIÓN MOTORES A GAS ECOPETROL VIT MONTERREY	
Menores costos de insumos \$ CoP	\$ 151,123,542
Mayor disponibilidad de equipos - \$ Cop	\$ 101,672,064
Eficiencia por menor uso de mano de obra	\$ 3,256,106
Menores costos de disposición final de residuos	No calculados
BENEFICIO TOTAL	\$ 256,051,712

Notas: - Calculado con los ahorros generados al pasar los cambios de aceite de 2000 horas en promedio actuales a 4 mil horas.

Menores costos de insumos se refieren a aceite y filtros. - Se incluye el beneficio generado al permitir que los paros de los equipos sean menores debido a que no se les programa cambio de aceite en ellos. Para esto se toma un valor de \$1.04 usd/bbl dejado de bombear.

No se tienen en cuenta otros beneficios como menores desperdicios, menos costos de disposición de estos y menor impacto ambiental. Imagen de autoría propia.

Figura 19

Proyección de Ahorros por Año por Sistemas y Equipos.

Waukesha		L5794GSI - bomba		ECOPETROL VIT MONTERREY	
Linea Base de Información		CALCULOS DE COSTOS ANUALIZADOS			
Ecopetrol Monterrey - Bombeo		Waukesha		L5794GSI - bombeo	
Potencia HP	1,380	Datos Operativos por Motor	Pegasus 805	Datos Operativos por Motor	PEGASUS 805
Potencia Kw real	1,029	Intervalo de Cambio de Aceite - Hrs	2000	Intervalo de Cambio de Aceite - Hrs	4000
Capacidad del Carter (Galones)	190	Cambios totales promedio año	4.4	Cambios totales promedio año	2.2
Relleno Actual Galones/Día	1	Aceite usado en los cambios - Gls	832.2	Aceite usado en los cambios - Gls	416.1
Relleno Actual Galones/Hora	0.04	Aceite usado en rellenos - Gls	365.0	Aceite usado en rellenos - Gls	365.0
Relleno esperado Galones Día	1	Costo de los cambios de aceite \$	\$ 20,870,743.80	Costo de los cambios de aceite \$	\$ 10,435,371.90
Relleno esperado Galones/Hora	0.04	Costo del aceite de Relleno \$	\$ 9,153,835.00	Costo del aceite de Relleno \$	\$ 9,153,835.00
Precio Mobil Pegasus 805	\$ 25,079	Perdidas de Produccion Hrs	\$ 8.76	Perdidas de Produccion Hrs	\$ 4.38
Precio Mobil Pegasus 805	\$ 25,079				
Información de Motores		Costos por Motor - año		Costos por Motor - año	
# de Motores	8	Costo del aceite (cambio y relleno)	\$ 30,024,579	Costo del aceite (cambio y relleno)	\$ 19,589,207
Horas por Año	8760	Costo de la labor de cambiar aceite	\$ 353,247	Costo de la labor de cambiar aceite	\$ 176,624
Horas Totales Por Año	70080	Costos asociados al cambio de aceite (transportes, filtros, materiales, etc)	\$ 2,067,360	Costos asociados al cambio de aceite (transportes, filtros, materiales, etc)	\$ 1,033,680
Horas para Cambio de Aceite	2	Costo por Perdidas de producción	\$ 16,398,720	Costo por Perdidas de producción	\$ 8,199,360
Costo de Labor Por Hora (calculado 2 personas x cambio)	\$ 40,325	Total	\$ 48,843,906	Total	\$ 28,998,870
Costos asociados al cambio de aceite (transportes, filtros, materiales, etc)	\$ 472,000				
Información de Producción		Diferencia por motor/año			
Ingreso/ barril producido (COP)	\$ 1,872.00		\$		19,845,035
eficiencia /disponibilidad	100%	Ahorros potenciales operación- Año			
Barriles hora / equipo	1,000.00		\$		158,760,283
<p>Notas: Para cálculo, 2 motores fase I y seis motores fase II Se toma como cobro por barril dejado de bombear \$ 1.04 USD Costos asociados al cambio, 4 filtros metálicos a \$117.000 cop Tiempo de paro ahorrado en el mantenimiento por no hacer cambio de aceite 2 horas</p>					

Nota: Beneficios en ahorros significativos, involucrando a todos los actores de la cadena de ingeniería, operación y mantenimiento, así como al proveedor del lubricante, el laboratorio de servicio y el representante del fabricante del motor, en general los gastos del análisis están inmersos en los gastos propios de la gestión y beneficios del consumo de la marca. Imagen de Autoría propia.

Referencias Bibliográficas

- Bussineswire. (06 de noviembre de 2018). *www.businesswire.com*. Recuperado el 22 de enero de 2022, de <https://www.businesswire.com/news/home/20181106005236/en/INNIO-Completes-Carve-out-from-General-Electric-and-Emerges-as-Stand-alone-Energy-Company>
- Corporation, E. M. (18 de Agosto de 2016). *www.MobilServ.com*. Recuperado el 12 de Enero de 2022, de <https://dq681uz26h5zr.cloudfront.net/xom/help-page-items/docs/mobil-serv-lubricants-analysis-guide-2.pdf>
- ExxonMobil. (29 de Diciembre de 2021). *Mobil Serv*. Recuperado el 06 de Enero de 2022, de [www.uclid.us: https://uclid.us/app/views/reporting.html](https://uclid.us/app/views/reporting.html)
- Innio, w. (12 de Marzo de 2021). Lube Oil Recommendations. *Service Bulletin* . Waukesha, Wisconsin, Estados Unidos: INNIO Waukesha Gas Engines, Inc.

Apéndices

Apéndice A

Limites condenatorios Service Bulletin 12-1880AB Waukesha 2016

Service Bulletin No. 12-1880AB

Table 5. Used Oil Testing And Condemnation Limits

ANALYSIS METRICS	STANDARD TEST METHOD USED	CONDEMNING LIMITS	
		APG 220GL	ALL OTHER WAUKESHA ENGINES (And non specified APG220GL)
WEAR METALS:			
Iron (Fe)	ASTM D5185	30 ppm max	Wear Metals By Trend Analysis [Investigate source(s) of rising wear metal(s). Change oil based upon analysis report recommendations.]
Aluminum (Al)		10 ppm max	
Copper (Cu)		15 ppm max	
Lead (Pb)		20 ppm max	
Tin (Sn)			
Chromium (Cr)		10 ppm max	
Nickel (Ni)			
Silver (Ag)			
Titanium (Ti)			
CONTAMINANTS:			
Silicon (Si)	ASTM D5185	20 ppm max	By Analysis Report Recommendations
Sodium (Na)			Any detectable amount as coolant leak indicators
Potassium (K)			
Chlorine (Cl)			900 ppm
MULTI-SOURCE:			
Boron (B)	ASTM D5185		Multi-source by Analysis Report Recommendations (if contaminant)
Molybdenum (Mo)			
Antimony (Sb)			
Manganese (Mn)			
ADDITIVES:			
Magnesium (Mg)	ASTM D5185		Additive levels are information only
Calcium (Ca)			
Barium (Ba)			
Phosphorous (P)			
Zinc (Zn)			
Soot		FTIR	
Water %	ASTM D1744 Karl Fish	Above 0.3% wt.	Above 0.1% by wt.
Glycol (pos/neg)	ASTM D2982		Any detectable amount
Viscosity (40° C)	ASTM D445	+50% change	-20 / +30% change
Viscosity (100° C)		+25% change	
TAN	ASTM D664	2.5 rise over new oil (See Note 1 on next page)	3.0 rise over new oil (See Note 1 on next page)
TBN	ASTM D2896 (new oil)	Drop to 50% of new oil TBN (See Note 1 on next page)	Drop to 30% of new oil TBN (See Note 1 on next page)
	ASTM D4739 (used oil)		Not applicable to TOHCL
Oxidation	ASTM E168 (DFTIR) (requires fresh oil ref.)		40 Abs/cm Peak Height Method
Nitration			
Oxidation	ASTM E2412 (FTIR) (no fresh oil ref. needed)	25 Abs @ 1700 cm ⁻¹	25 Abs @ 1735 cm ⁻¹ Peak Area Method
Nitration		20 Abs @ 1625 cm ⁻¹	25 Abs @ 1625 cm ⁻¹ Peak Area Method
Flash Point	ASTM D92 (Cleveland Open Cup)		356° F (180° C)
Particle Counts:			
ISO Code	ISO 4406		Maximum Monitored Levels (See Note 2 on next page)
4 micron	ISO 11500		25/24/20
6 micron			160,000 particles/ml
10 micron			80,000
14 micron			30,000
21 micron			5,000
38 micron			1,000
70 micron			100
100 micron			12
			8

With natural gas fuels engine oil samples should be taken based on trend experience or @ 500 hours maximum.

Apéndice B

Limites condenatorios Service Bulletin 12-1880AS Waukesha 2021

Service Bulletin No. 12-1880AS

Table 12: Used Lube Oil Testing and Recommended Condemnation Limits

Natural gas fuel engine lube oil samples should be taken based on trend experience or @ 500 hours maximum.

ANALYSIS METRICS	STANDARD TEST METHOD USED	CONDEMNING LIMITS		
		12V/18V220GL	ALL OTHER INNIO WAUKESHA ENGINES	
WEAR METALS:				
Iron (Fe)	ASTM D5185	30 ppm max	Wear metals by trend analysis. (Investigate source(s) of rising wear metal(s). Change lube oil based upon analysis report recommendations.)	
Aluminum (Al)		10 ppm max		
Copper (Cu)		15 ppm max		
Lead (Pb)		20 ppm max		
Tin (Sn)		10 ppm max		
Chromium (Cr)		10 ppm max		
Nickel (Ni)		10 ppm max		
Silver (Ag)		Wear metals by trend analysis. Change lube oil based upon Report recommendations.		
Titanium (Ti)				
CONTAMINANTS:				
Silicon (Si)	ASTM D5185	20 ppm max	Follow analysis report recommendations	
Sodium (Na)		Any detectable amount (> 5 ppm) as coolant leak indicator	Any detectable amount (> 5 ppm) as coolant leak indicator	
Potassium (K)				
Chlorine (Cl)	ASTM D6443 (XRF) or ASTM D2622 (XRF)	900 ppm max	900 ppm max	
Soot	FTIR	Above 2.5% by volume	Above 2.5% by volume	
Water % by IR & Karl Fischer	ASTM D1744 or ASTM D6304-04A	Above 0.3% by weight (3,000 ppm)	Above 0.1% by weight (1,000 ppm)	
Glycol (pos/neg)	ASTM D2982	(Na & K) Any detectable amount (> 5 ppm)	(Na & K) Any detectable amount (> 5 ppm)	
MULTI-SOURCE:				
Boron (B)	ASTM D5185	Multi-source by Analysis Report Recommendations (if contaminant)	Multi-source by Analysis Report Recommendations (if contaminant)	
Molybdenum (Mo)				
Antimony (Sb)				
Manganese (Mn)				
ADDITIVES:				
Magnesium (Mg)	ASTM D5185	Additive levels are information only	Additive levels are information only	
Calcium (Ca)				
Barium (Ba)				
Phosphorous (P)				
Zinc (Zn)				
CHARACTERISTICS:				
Viscosity (40°C)	ASTM D445	+50% change	-20/+30% change	
Viscosity (100°C)		+25% change		
TAN	ASTM D664	2.5 rise over new lube oil **	3.0 rise over new lube oil **	
TBN	ASTM D2896 (new & used lube oil)	Drop to 50% of new TBN **	Drop to 30% of new TBN ** Not applicable to TOH/CI	
Oxidation	ASTM E2412-04 ANNEX A2	40 Abs/cm Peak Height (Single Point Baseline) Method	40 Abs/cm Peak Height (Single Point Baseline) Method	
Nitration				
Oxidation	ASTM E2412-04 ANNEX A1 *	25 Abs @ 1700 cm ⁻¹ Peak Area Method	25 Abs @ 1735 cm ⁻¹ Peak Area Method	
Nitration		20 Abs @ 1625 cm ⁻¹ Peak Area Method	25 Abs @ 1625 cm ⁻¹ Peak Area Method	
Flash Point	ASTM D92 (Cleveland Open Cup)	356°F (180°C)	356°F (180°C)	