

# Análisis del uso de GLP en motores diésel para la generación eléctrica en operación petrolera.

*Autores: Jorge Leonardo Medina Agudelo 23552013535*

*Juan Camilo Ocampo Arango 23552011204*

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.*

*Tecnología. En mantenimiento electromecánico Industrial*

*Universidad Antonio Nariño*

*Villavicencio*

*jmedina08@uan.edu.co,*

*jocampo94@uan.edu.co*

*Directora*

*Haslyd Yaneth Bravo Álvarez*

*hbravo31@uan.edu.co*

**RESUMEN:** Los motores diésel operados en generación eléctrica que operan en la Orinoquia son alimentados con gasoil, En comparación con otros motores que son alimentados con otro tipo de combustibles, en la poscombustión se generan una alta contaminación a los componentes del motor y al medio ambiente. Una de las grandes ventajas es que los motores diésel son más económicos además de su capacidad para generar alta potencia. Por esta razón, son ampliamente utilizados en muchos campos, como la industria, la agricultura, el transporte, la generación de electricidad. Las crecientes preocupaciones ambientales y la disminución de los recursos petroleros llevaron a realizar análisis en otros tipos de combustibles para mejorar el consumo de combustible y las emisiones. En este contexto, el uso de combustible Gas Licuado de Petróleo (GLP) en motores diesel es uno de los temas que se analizaron para mejorar las condiciones.

**PALABRAS CLAVE:** *Motor Diésel, GLP, rendimiento.*

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento industrial en todo el mundo, la generación de energía ha aumentado en muchos sectores de la industria como el transporte, la agricultura, la generación de electricidad y la industria pesada.

Debido a esto, los motores diésel tienen una tasa de utilización muy alta en esos campos debido a que produce alta potencia a bajo costo en comparación con otros tipos de motores en el mismo rango de tamaño,

El diésel en Colombia por reglamentación tiene un porcentaje de biodiesel que es producido a partir del aceite de la palma africana, cabe aclarar que los combustibles en su mayoría son derivados del petróleo.

El combustible principal utilizado es el gasoil ya que por el tamaño y diseño de estos motores se requiere un combustible pesado, pero esto también conlleva a una serie de problemas como el tema de la contaminación internamente en los componentes del motor y en la liberación de los gases de escape a la atmósfera.

Este tipo de combustible provoca que el motor pierda tiempo de su vida útil ya que por ser un combustible pesado genera daños en los componentes, desgastes prematuros, fisuras internas lo que ocasiona contaminación con los demás sistemas. (sistema de refrigeración y sistema lubricante).

Estos tipos de motores son turboalimentados lo que también implica que el funcionamiento de los turbos depende mucho de los gases de escape, ya que esto le genera ciertas RPM, para que a su vez ingrese aire limpio a las cámaras de combustión, pero si el combustible está demasiado contaminado esto genera daños internos, como la abrasión del material que hace que los alabes sufran roturas o en su defecto en una de las paradas del motor los alabes queden pegados y luego para su arranque no halla respuesta de la unidad ya que no van a ingresar aire a la cámara de combustión.



Imagen 1. Fuente propia

Además de los combustibles líquidos, los combustibles gaseosos como el hidrógeno, el gas natural vehicular (GNV), el éster metílico de diésel (DME), el biogás y el GLP se pueden utilizar en motores diésel [ 1, 2, 3, 4, 7]. El Gas Licuado de Petróleo (GLP) y el GNC tienen actualmente la accesibilidad y facilidad de uso más fáciles entre los combustibles gaseosos.

El combustible GLP se puede utilizar como gas o fase líquida en motores diésel. En fase gas, se fumiga en la toma de aire y se forma la mezcla aire-GLP en el colector de admisión [1,3]. Cuando el GLP es la fase líquida, se mezcla con el combustible diésel a una presión superior a 0,5 MPa. El GLP licuado se mezcla con combustible diésel y se presuriza mediante la bomba de alta presión.

El GLP en fase líquida se inyecta como una mezcla de GLP y diésel mediante un solo inyector o por separado mediante un segundo inyector (4).

En los motores diésel que funcionan con GLP en fase gas, el GLP vaporizado se introduce en el cilindro con el aire de admisión y la mezcla de GLP y aire se comprime como en un motor diésel convencional. La mezcla de GLP y aire no se enciende automáticamente debido a su alta temperatura de auto ignición. Se inyecta una pequeña cantidad de combustible Diesel llamado piloto para el encendido de la mezcla GLP-aire. El combustible Diesel piloto, que es inyectado por el equipo de inyección Diesel convencional, normalmente contribuye solo con una pequeña fracción de la potencia de salida del motor [ 7]. El uso de GLP en la fase gaseosa ha sido ampliamente estudiado. Conduce a un mejor rendimiento del motor, bajas emisiones de partículas y humo [ 2,3].

## JUSTIFICACIÓN

En comparación con otros motores del mismo tamaño, los motores diésel son más económicos además de su capacidad para generar alta potencia. Por esta razón, son ampliamente utilizados en muchos campos, como la industria, la agricultura, el transporte, la generación de electricidad. Las crecientes preocupaciones ambientales y la disminución de los recursos petroleros llevaron a los investigadores a mejorar el consumo de combustible y las emisiones. En este contexto, el uso de combustible Gas Licuado de Petróleo (GLP) en motores Diesel es uno de los temas de investigación importantes que se ha mantenido al día, ya que también el GLP mantiene los componentes internos menos contaminados lo que hace que la vida útil de estos componentes sea mayor.

## I. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

Analizar el desempeño de un motor Wartsila® (1 MOTOR) de generación eléctrica para cada una de las unidades que tiene la capacidad de generar 8.0 MW alimentado con GLP, operando durante un mes.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análisis de gases de escape en una de las unidades. de generación eléctrica operando con GLP.
- Comparar el consumo de combustible entre el GLP y el gasoil en una de las unidades.
- Análisis de aceite. Para evidenciar desgaste.

## II. MARCO TEORICO

konkur [ 4] investigó el efecto del combustible dual diésel/GLP en motores diésel sobre el rendimiento y las emisiones. Diseñaron un sistema de válvula de ajuste de gas para entregar el GLP con una tasa del 30% al colector de admisión. Los resultados experimentales mostraron que la potencia del motor, el par motor y el consumo específico de combustible mejoraron con el funcionamiento con combustible dual. Como resultado, la operación de combustible dual en comparación con la operación única, el momento del motor y la potencia aumentaron un 5,8 %, y la emisión de NO x y el factor k se redujeron en un 5,9 % y 1/9 respectivamente. Además, demostraron que las emisiones de CO<sub>2</sub> eran más bajas que en el modo de combustible único porque las emisiones de CO no podían convertirse en CO<sub>2</sub> en el modo de combustible dual.

Oasim [3] estudió el rendimiento y las emisiones de un motor diésel de inyección directa que funciona con GLP 100 % butano. Agregaron peróxido de di-terciario-butilo (DTBP) e hidrocarburo alifático (AHC) al combustible GLP

para mejorar el índice de cetano. Una operación estable del motor Diesel en un amplio rango de carga del motor fue posible con el GLP mejorado en cetano. Se obtuvieron algunos combustibles mezclados LPG diferentes cambiando la concentración de DTBP y AHC. De acuerdo con los resultados experimentales, el GLP y solo los combustibles combinados con AHC aumentaron las emisiones de NO<sub>x</sub> en comparación con la operación con combustible diésel. El resultado experimental mostró que la eficiencia térmica del motor diésel alimentado con GLP era comparable a la operación con diésel puro. En términos de emisiones de escape, el NO<sub>xy</sub> el humo podría reducirse considerablemente con el uso de diversas mezclas de LPG, DTBP y AHC.

Selim [ 1] se centró en el efecto de los cambios en la relación de propano en el contenido de GLP en las emisiones y el rendimiento en motores diésel de combustible dual. En el estudio, se suministró GLP con diversos contenidos de propano a un motor diésel con capacidad EGR. La mejor eficiencia del motor se logró con una relación de propano del 40%. Dependiendo del contenido de GLP, la alta proporción de butano condujo a la disminución de las emisiones de NO<sub>x</sub> y el alto contenido de propano también provocó la reducción de las emisiones de CO. En una mezcla de 30% de butano y 70% de contenido de propano, el rendimiento del motor se mantuvo al mismo nivel que el combustible Diesel puro. Las emisiones de NO<sub>x</sub> se redujeron en un 27 % a plena carga en una mezcla de 70 % de propano y 30 % de butano.

Cao, j. [5, 6,7] llevó a cabo una evaluación del rendimiento de un motor de combustible dual Diesel/LPG. Se envió 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de GLP al colector de admisión del motor mono cilíndrico de prueba. Los procesos se llevaron a cabo a una velocidad constante del motor de 720 rpm con diferentes cargas. La relación de combustible GLP del 50 % solo podía utilizarse hasta el 40 % de la carga del motor. En todas las proporciones de mezcla de combustible GLP, la eficiencia efectiva había aumentado en comparación con el combustible Diesel puro.

El uso de GLP en los motores diésel. Utilizaron un inyector de GLP montado en el colector de admisión. Las mediciones se realizaron en proporciones de 10%, 20% y 25% de GLP. Las

mejoras máximas en la potencia del motor, el par motor y el consumo específico de combustible se lograron con una proporción de GLP del 25 %. En cuanto a las emisiones de escape, las emisiones de NO<sub>x</sub> y HC disminuyeron con todas las proporciones de GLP, mientras que las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> aumentaron.

Javarai [2,3,4], investigó la influencia de la adición de hidrógeno y GLP en la eficiencia y las emisiones de un motor diésel de combustible dual. Demostraron que la eficiencia aumentó con el uso de GLP en cargas altas, mientras que se redujeron las emisiones de HC. Observaron una fuerte detonación en el motor de prueba con una proporción de GLP del 70 %. El mejor rendimiento del motor se obtuvo con una proporción de GLP del 40 %.

leermakers al. [6] estudiado en el motor de combustible dual diesel/LPG. El combustible GLP en fase gaseosa se suministró al colector de admisión de un motor diesel de un solo cilindro. El análisis se llevó a cabo con una carga del motor del 50 % y una velocidad constante del motor de 720 rpm. Los resultados experimentales se registraron con una relación de combustible GLP de 35%, 67%, 73% y 90% aproximadamente. A medida que aumentaba la proporción de combustible GLP, las emisiones de NO<sub>x</sub> disminuían y las emisiones de HC aumentaban regularmente. Además, las emisiones de CO aumentaron al principio y luego disminuyeron ligeramente. Se vio que hubo una ligera disminución en la presión del cilindro debido al aumento en la relación de combustible GLP.

El GLP en fase líquida se mezcla con combustible diésel y se entrega a la bomba de alta presión cuando el combustible GLP en fase líquida se utiliza en motores diésel. La mezcla de GLP líquido y gasóleo se inyecta en el cilindro con el inyector diésel a alta presión. El GLP en fase líquida puede cambiar fácilmente a la fase gaseosa cuando se inyecta en el cilindro debido al bajo punto de ebullición del GLP. La rápida evaporación del GLP en la mezcla diésel/GLP puede mejorar la atomización del rociado de combustible. El aumento del contenido de GLP en la mezcla de combustible disminuirá el índice de cetano de la mezcla de diésel/GLP y esto conducirá a un aumento del retraso en el encendido. Además, el calor latente de la evaporación y el poder

calorífico inferior (LHV) de la mezcla diésel/LPG dan un ligero aumento en el retraso de la ignición. (5)

### III. ALCANCE

Evaluar el desempeño del motor wartsila, alimentado con GLP y bajo condiciones normales de operación.

### IV. METODOLOGIA

Se resolvió utilizar el siguiente proceso metodológico para la realización del proyecto

Establecer los parámetros de trabajo y emisiones de gases contaminantes. para un motor wartsila alimentado con gasoil.

Parámetros en niveles de ruido y muestreo de aceite bajos las condiciones normales de operaciones igualmente alimentado con gasoil.

Configuración del sistema de alimentación de GLP para una de las unidades.

Seguimiento del funcionamiento en intervalos de 25 horas por 5 veces.

Análisis de resultados.

## V. RECURSOS FISICOS

Computador, impresora, hojas, celular.

## VI. RESULTADOS ESPERADOS.

Análisis de las variables del motor en su funcionamiento con GLP versus gasoil.

### UBICACIÓN DENTRO DE LAS LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA

Este proyecto se encuentra dentro de la línea de mantenimiento electromecánico industrial, la tecnología para el mantenimiento, maquinas térmicas e hidráulicas.

### USUARIOS DIRECTOS Y FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

Los principales interesados son las empresas que se encuentran en la industria y en el campo de la generación eléctrica.

- Análisis de gases de escape en una de las unidades. de generación eléctrica operando con GLP.

Dando como resultado al análisis de las pruebas que se realizaron de acuerdo a los objetivos específicos planteados tenemos.

#### 1. Análisis de gases de escape (emisiones).

La combustión de cualquier combustible fósil libera calor, que se utiliza en gran medida en las calderas de recuperación para generar vapor. Los principales productos de la combustión son CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) H<sub>2</sub>O (agua), CO (monóxido de carbono), NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre). Entre los gases anteriores, el CO<sub>2</sub> se considera un gas de efecto invernadero, mientras que en los otros gases se

consideran contaminantes del aire. Cabe señalar que los factores de emisión suelen expresarse como el peso del contaminante emitido por unidad de peso, volumen, energía o actividad, según el nivel elegido. En términos generales, a partir del uso de gas podemos obtener factores menos contaminantes.

Presento cuadro comparativo de acuerdo al factor de emisiones entre el combustible gasoil y GLP.

**Tabla 1.**

COMBUSTIBLE	ESTADO	FACTOR DE EMISION(Kg/C/GJ)
Crudo de petróleo	Líquido	21.0 Kg/C/GJ
Gas propano GLP	Gas	4.2 Kg /C/GJ

Porcentaje de emisiones de acuerdo al tipo de combustible.

De acuerdo a la reacción química tenemos la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado, debido a la producción de una unidad de energía eléctrica, para los dos tipos de combustibles.

**Tabla 2.**

Unidad de energía kwh	Combustible	Produce kg /CO <sub>2</sub> h
6000 kwh	Crudo de petróleo	828 kg de CO <sub>2</sub>
6000 kwh	Gas propano GLP	662 kg de CO <sub>2</sub>

Las estimaciones que se dan en la anterior tabla se basan en la base teórica proporcionada por la estequiometría (en este trabajo no se realizan ecuaciones de reacciones químicas) de cada combustible determinada por su composición elemental.

## Conclusión.

Debido al análisis realizado en los gases de escape podemos concluir que el gasoil es un combustible más contaminante, más pesado.

En cuanto a la liberación de CO<sub>2</sub> y al factor de emisión se observó un índice más alto con el gasoil que con el GLP,

- Comparación consumo de combustible entre el GLP y el gasoil en una de las unidades.



**Imagen 1. Fuente propia.**  
**Operando con combustible gasoil.**

Caldera de recuperación donde se evidencia material particulado contaminante, residuos de la combustión con gasoil.



**Imagen 2. Fuente propia.**  
**Presencia de hollín.**

Podemos observar la contaminada en la parte interna de la caldera debido a la calidad de

combustible y a su vez como afecto el funcionamiento del equipo.

En la siguiente imagen podemos observar las afectaciones y contaminación que tienen las unidades con respecto al combustible gasoil, en la parte interna del motor como la cámara de combustión donde la culata se evidencia bastante contaminada debido a eso la alta temperatura genero fatiga de los asientos de escape que son refrigerados por agua. En donde se evidencia que se vio afectada por presencia de agua.

## Causas generadas.

Indisponibilidad del equipo, repuestos, material consumible.



**Imagen 3. Fuente propia.**  
**Culata del motor,**

Afectación en válvulas de admisión y de escape, asiento de escape fisurado lo que género que ingresara agua a la cámara de combustión.



**Imagen 4. Fuente propia.**  
**Parte interna de la cámara de combustión.**



**Imagen 5. Fuente propia.**  
**Culata de un motor con GLP.**

Donde podemos observar menos desgaste y menos daño en el material.

**Tabla 3.**

Carga kwh	Combustible	Consumo
6000 kwh	Crudo de petróleo	417 gal/h
6000 kwh	Gas propano GLP	1246.6 m <sup>3</sup> /h

### **Conclusiones.**

Podemos concluir tanto en el análisis de gases de escape como el análisis de combustible la contaminación generada por la combustión del gasoil en las imágenes que se adjuntaron se evidencio el exceso de hollín y el exceso de contaminación.

las fallas y el desgaste en los componentes son más frecuentes.

Este tipo de emisiones afecta directamente a la atmosfera, generando concentraciones en el aire.

- **Análisis de aceite.**

**Tabla 4.**

Tendencia y datos de muestra GASOIL						GLP
Información de la muestra	Fecha de la muestra	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene	31-ene
	Edad de los equipos en horas	58243	58394	58446	58615	58696
	Edad del aceite en horas	5557	5708	5760	5929	6009
Lubricante	<u>Visc@ 100C (cSt)</u>	16,6	16,6	16,3	16,6	13,7
	Oxidación (Ab/cm)	10	10	8	9	0
	TBN (mg KOH/g )	25,2	25,1	26,2	25,3	38,7
	Hollín (Wt %)	0,80	0,73	0,64	0,64	0,10
	Agua (Vol. %)	0,15	0,15	0,17	0,15	No detectado
Desgaste (ppm)	Cu (Cobre)	2	2	1	0	0
	Fe (Hierro)	14	14	17	14	3
	Ni (Níquel)	121	119	131	105	0
Contaminantes (ppm)	k (Potasio)	4	4	3	4	2
	Na (Sodio)	43	42	42	29	2

### Conclusiones.

En la tabla tenemos los datos como edad de los motores y edad del aceite donde realizamos el análisis de aceite de acuerdo al tipo de combustible con que se encontraba operando.

Podemos concluir que durante el análisis con gasoil lo que fue la viscosidad del aceite estuvo siempre en el mismo parámetro. A diferencia del GLP tuvo un cambio de 3° de viscosidad.

La oxidación no se presentó en el análisis con GLP.

Con GLP el TBN presento cambio alto.

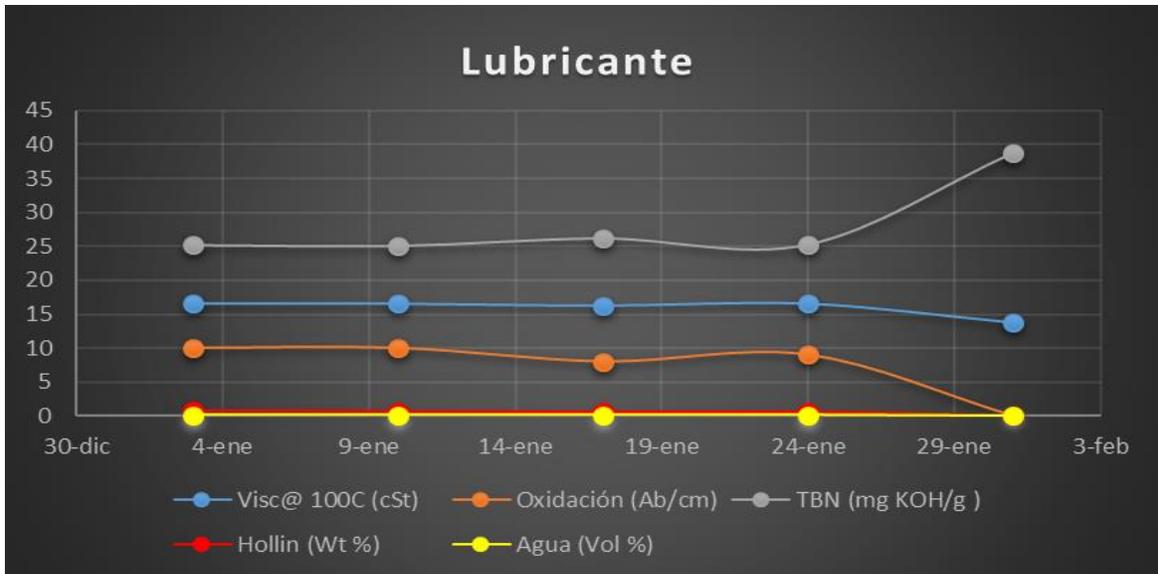
El hollín con GLP no se presentó mayor contaminación debido a que su combustión es más limpia.

No se evidencio presencia de agua en el aceite durante el uso con GLP.

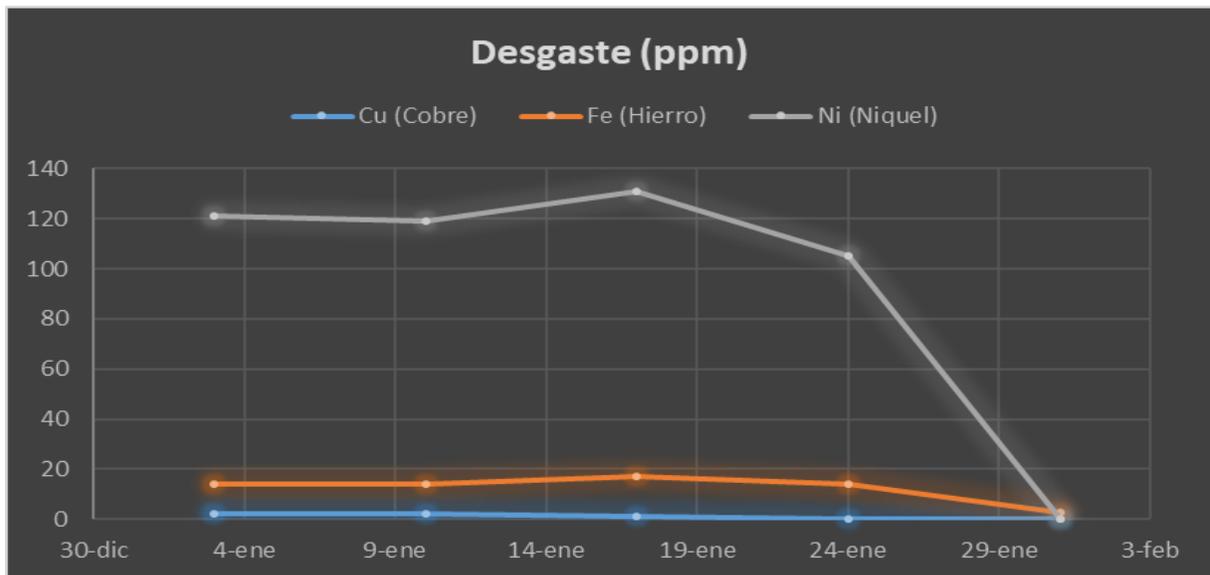
En el análisis sobre el desgaste se evidenciaron algunos elementos como el cobre, el hierro, y el níquel el cual se encuentran presentes en los cojinetes del motor.

Los contaminantes como el potasio y el sodio también se vieron en gran diferencia durante el uso con el combustible GLP.

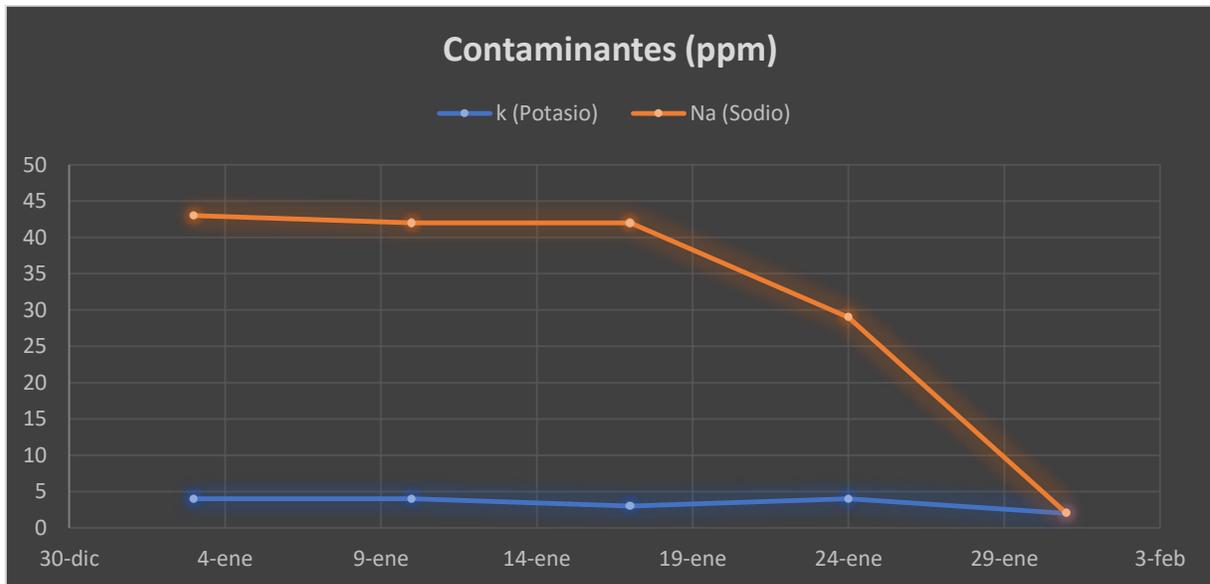
Se realizaron algunas graficas en las que nos demuestran la diferencia de acuerdo al tipo de combustible.



**Imagen 6.** Grafico donde se evidencia la viscosidad del aceite de acuerdo al funcionamiento del motor y de acuerdo al combustible con que se encuentra funcionando. Donde la última muestra que fue el día 31 de enero la unidad se encontraba funcionando con GLP y se evidencio disminución en la mayoría de muestras.



**Imagen 7.** Grafica sobre el desgaste que sufrieron los componentes en (ppm).



**Imagen 8.** Grafica sobre los contaminantes (ppm)

### Conclusión

Podemos concluir en todo este trabajo de análisis que a pesar de que el GLP es la mejor opción para operar este tipo de motores por ser un combustible más limpio, el cual puede alargar su vida útil de funcionamiento, menos costos en los mantenimientos y mejor confiabilidad en la operación.

El uso de gasoil a pesar de tener desventajas en su uso, es el más utilizado en la industria petrolera debido a su fácil acceso a comparación del GLP que no se cuenta con la misma disponibilidad en todos los campos de generación eléctrica.

No se requieren y tampoco es necesario tomar acciones en el aceite o en el motor, debido a todos los resultados del análisis realizado indica que para cada tipo de combustible están dentro de rangos aceptables para su operación y funcionamiento.

### Recomendaciones

Desde que los equipos sigan operando con este tipo de combustible (gasoil) se recomienda realizar los mantenimientos a tiempo para así evitar daños e indisponibilidad en los equipos.

También se recomienda que las temperaturas de los condensados sean las recomendadas por el fabricante del equipo, ya que el gasoil tiene una densidad bastante alta, y al no estar con su temperatura adecuada, genera daños en los equipos como sobre esfuerzos en las bombas y rupturas en las tuberías.

El GLP es altamente peligroso entre sus principales inconvenientes destacan la densidad en estado gaseoso, mayor que la del aire por lo que es difícil de ventilar en caso de eventuales fugas. Además, es un gas inodoro al que hay que añadir odorizantes para detectarlo. Por otro lado, su almacenamiento en estado líquido saturado puede resultar peligroso en situaciones de almacenamiento inseguro, no sólo existiendo riesgo de inflamación sino también riesgo de explosiones debido a su súbita evaporación que pueden finalmente causar una deflagración explosiva.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Selim, M.Y.; Radwan, M.S.; Saleh, H.E. Improving the performance of dual fuel engines running on natural gas/LPG by using pilot fuel derived from jojoba seeds. *Renew. Energy* **2008**, *33*, 1173–1185.
2. Ramadhas, A.S.; Muraleedharan, C.; Jayaraj, S. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renew. Energy* **2005**, *30*, 1789–1800.
3. Qasim, M.; Ansari, T.M.; Hussain, M. Combustion, Performance, and Emission Evaluation of a Diesel Engine with Biodiesel Like Fuel Blends Derived from a Mixture of Pakistani Waste Canola and Waste Transformer Oils. *Energies* **2017**, *10*, 1023.
4. Usta, N.; Öztürk, E.; Can, Ö.; Conkur, E.S.; Nas, S.; Con, A.H.; Topcu, M. Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine. *Energy Convers. Manag.* **2005**, *46*, 741–755.
5. Mirgal, N.; Kumbhar, S.; Ibrahim, M.M.; Chellapachetty, B. Experimental investigations on LPG—Diesel dual fuel engine. *J. Chem. Pharm. Sci.* **2017**, *10*, 211–214.
6. Wagemakers, A.M.L.M.; Leermakers, C.A.J. *Review on the Effects of Dual-Fuel Operation, Using Diesel and Gaseous Fuels, on Emissions and Performance (No. 2012-01-0869)*; SAE Technical Paper; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2012.
7. Cao, J.; Bian, Y.; Qi, D.; Cheng, Q.; Wu, T. Comparative investigation of diesel and mixed liquefied petroleum gas/diesel injection engines. *J. Automob. Eng.* **2004**, *218*, 557–565.
8. <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/1285/17%20Factores%20de%20emision%20de%20combustibles.pdf;jsessionid=305BB6800283D3A220884722007E68B4?sequence=18>.
9. maquinas-térmicas-marta-muoz-dominguezpdf