



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL
LUBRICANTE SAE 40 Y ESTABLECIMIENTO DE UN
PLAN DE LUBRICACIÓN EN LOS MOTORES MWM
TBD 440 6K Y 8K DEL POLIDUCTO ESMERALDAS –
SANTO DOMINGO – QUITO - PASCUALES”**

**TOLEDO CERVANTES GUIDO RICARDO
ESPÍN GARCÍA TYRONE LISANDRO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero, 23 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

GUIDO RICARDO TOLEDO CERVANTES

Titulada:

**“EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL LUBRICANTE SAE 40 Y
ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE LUBRICACION EN LOS MOTORES
MWM TBD 440 6K Y 8K DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-SANTO
DOMINGO-QUITO-PASCUALES ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rigoberto Mancheno
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Celin Padilla
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUIDO RICARDO TOLEDO CERVANTES

TÍTULO DE LA TESIS: “EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL LUBRICANTE SAE 40 Y ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE LUBRICACION EN LOS MOTORES MWM TBD 440 6K Y 8K DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-SANTO DOMINGO-QUITO-PASCUALES ”

Fecha de Examinación: 23 de Febrero de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
Ing. Rigoberto Mancheno (Director de Tesis)			
Ing. Celin Padilla (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero, 23 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

TYRONE LISANDRO ESPIN GARCIA

Titulada:

**“EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL LUBRICANTE SAE 40 Y
ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE LUBRICACION EN LOS MOTORES
MWM TBD 440 6K Y 8K DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-SANTO
DOMINGO-QUITO-PASCUALES ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rigoberto Mancheno
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Celin Padilla
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TYRONE LISANDRO ESPIN GARCIA

TÍTULO DE LA TESIS: “EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL LUBRICANTE SAE 40 Y ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE LUBRICACION EN LOS MOTORES MWM TBD 440 6K Y 8K DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-SANTO DOMINGO-QUITO-PASCUALES ”

Fecha de Examinación: 23 de Febrero de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
Ing. Rigoberto Mancheno (Director de Tesis)			
Ing. Celin Padilla (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de las autoridades. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Guido Ricardo Toledo C.

f) Tyrone Lisandro Espín G.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y un propósito para vivirla.

A mis padres, Hermanos, Familia y Amigos por brindarme su amor, sinceridad y ayuda durante mi vida, formación profesional y en el desarrollo de mi tesis.

A la ESPOCH y a mis profesores por ser artífices de mi formación académica y científica.

A los Tutores y Colaboradores de este proyecto, quienes con su apoyo han hecho posible la culminación del presente trabajo.

A todas las personas que colaboraron de cualquier manera para la culminación de este trabajo de investigación.

TYRONE LISANDRO ESPÍN GARCÍA

A Dios por darme la fuerza cada día para seguir adelante y no claudicar en los momentos difíciles.

A mis Padres, Hermanos, Abuelitos, Familia y Amigos por brindarme su apoyo y ayudar a que mi sueño, que ahora es una realidad se cumpla.

A todos los Amigos que hice durante mi permanencia en Petrocomercial y compartieron conmigo sus conocimientos, experiencia y apoyo para que este proyecto se desarrolle.

Y a todas las personas que confiaron en mí y ayudaron de una u otra manera para que la culminación de mi carrera sea un éxito.

GUIDO RICARDO TOLEDO CERVANTES

DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres por darme la vida.
A mi familia por el apoyo brindado siempre.*

A mis amigos por su ayuda y amistad.

A mis Tutores y Profesores formadores de mis conocimientos y mi carácter profesional.

A la ESPOCH por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente.

Y a los futuros Ingenieros automotrices y Politécnicos para que tengan en este trabajo una fuente de consulta para los fines que ellos crean pertinentes y a todo aquel que busque conocimiento entre las páginas de esta tesis que espero que no se olvide sino más bien sirva de inspiración para futuras investigaciones que contribuyan al desarrollo científico ecuatoriano y mundial.

TYRONE LISANDRO ESPÍN GARCÍA

A mis padres por todo el esfuerzo hecho durante toda mi carrera.

A mis Abuelitos por inculcarme buenos ideales desde niño y por el apoyo brindado.

A mis hermanos para que esto les sirva de motivación y ejemplo para que ellos también se formen profesionalmente.

Y a toda mi familia por estar siempre motivándome y confiar en mí.

GUIDO RICARDO TOLEDO CERVANTES

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Los lubricantes.....	4
2.1.1	Industria de aceites lubricantes.....	4
2.1.2	Aditivos lubricantes y sus propiedades.....	5
2.1.3	Clasificación de los aditivos.....	6
2.1.4	Actuación de los aditivos sobre las propiedades físicas del aceite.....	6
2.1.4.1	Mejoradores del índice de viscosidad.....	6
2.1.4.2	Depresores del punto de congelación.....	7
2.1.5	Actuación de los aditivos sobre las propiedades químicas del aceite.....	7
2.1.5.1	Antioxidantes.....	7
2.1.5.2	Anticorrosivos.....	8
2.1.5.3	Antiherrumbre.....	8
2.1.6	Actuación de los aditivos sobre propiedades físico-químicas del aceite.....	8
2.1.6.1	Detergentes.....	8
2.1.6.2	Dispersantes.....	9
2.1.6.3	Antiespumantes.....	9
2.1.6.4	Aditivos emulsionantes.....	9
2.1.6.5	Aditivos de extrema presión.....	9
2.1.6.6	Aditivos multifuncionales.....	10
2.1.7	Actuación y fuentes de los aditivos metálicos en el aceite.....	10
2.1.7.1	Zinc.....	10
2.1.7.2	Fósforo.....	10
2.1.7.3	Boro.....	10
2.1.7.4	Calcio.....	11
2.1.7.5	Magnesio.....	11
2.2	Lubricantes para motores de combustión interna.....	11
2.2.1	Condiciones a las que está sometido un aceite de motor.....	11
2.2.2	Funciones que deben satisfacer los aceites de motor.....	12
2.2.3	Características adecuadas para cumplir éstas funciones.....	12
2.2.4	Clasificación de los aceites para motor.....	12
2.2.4.1	Por su viscosidad SAE.....	13
2.2.4.2	Por el tipo de servicio API.....	13

2.2.4.3	Aceites para motores a gasolina.....	14
2.2.4.2	Aceites para motores a diesel.....	15
2.2.5	Componentes de desgaste de los motores.....	16
2.2.5.1	Hierro.....	16
2.2.5.2	Cromo.....	16
2.2.5.3	Níquel.....	16
2.2.5.4	Aluminio.....	17
2.2.5.5	Plomo.....	17
2.2.5.6	Cobre.....	17
2.2.5.7	Estaño.....	17
2.2.5.8	Plata.....	18
2.3	Análisis de aceite usado.....	18
2.3.1	Beneficios del análisis de aceite usado.....	18
2.3.2	Contaminación de aceite de motor.....	19
2.3.2.1	Fuentes de los elementos contaminantes.....	19
2.3.2.1.1	Silicio.....	19
2.3.2.1.2	Sodio.....	19
2.3.2.1.3	Hollín.....	20
2.3.2.1.4	Agua.....	20
2.3.2.1.5	Combustible.....	20
2.3.2.1.6	Variación de la viscosidad.....	21
2.3.2.1.7	Degradación del número total de bases (TBN).....	21
2.3.3	Métodos para la toma de muestra de aceite de motor.....	21
2.3.3.1	Localizaciones de muestreo en sistemas circulatorios.....	22
2.3.3.2	Método del tapón de drenaje.....	23
2.3.3.3	Método de la pistola de muestreo.....	23
2.3.3.4	Método del grifo.....	25
2.3.4	Pruebas realizadas a las muestras de aceite.....	26
2.3.4.1	Espectrofotometría por emisión atómica.....	26
2.3.4.2	Conteo de partículas.....	27
2.3.5	Intervalo de drenaje de aceite.....	28
2.3.6	Condenación de un aceite de motor.....	29
2.4	Especificaciones técnicas de los motores MWM TBD 440 6K y 8K.....	29
2.4.1	Descripción general del motor y explicación del Tipo.....	29
2.4.2	Sistema de lubricación de los motores MWM TBD 440.....	29
2.4.3	Componentes del sistema de lubricación.....	31
2.4.3.1	Bomba de Aceite.....	31
2.4.3.2	Filtro combinado para aceite del motor.....	32
2.4.3.3	Refrigerador de aceite.....	33
2.4.3.4	Cárter de aceite.....	33
2.4.4	Datos técnicos de los motores MWM TBD 440.....	34

3.	OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ACEITE DE LOS MOTORES DE LAS CUATRO ESTACIONES A LAS DISTINTAS HORAS DE OPERACIÓN	
3.1	Determinación del punto de muestreo en el motor.....	35
3.2	Método utilizado en la toma de muestra.....	36
3.2.1	Descripción del método.....	36
3.2.2	Materiales y equipos utilizados en la instalación de la llave purgadora y en la toma de muestra.....	37
3.2.3	Procedimiento a seguir para la toma de muestra.....	37
3.2.3.1	Pasos a seguir para realizar la toma de muestras en las estaciones.....	38
3.3	Parámetros de operación de los motores.....	41
3.4	Parámetros ambientales de las estaciones donde operan los motores.....	41
4.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO	
4.1	Valores críticos de contaminación admisibles en el aceite de los motores MWM TBD 440.....	42
4.2	Valores de las muestras del aceite nuevo Gulf Super Duty SAE 40 y del PDV Super Diesel Plus SAE 40.....	43
4.3	Valores obtenidos e interpretación de las muestras de aceite de la estación Santo Domingo de los aceites Gulf y Pdv.....	44
4.3.1	Valores de las muestras de aceite Gulf a 246 horas y Pdv a 240 horas de servicio de la estación Santo Domingo.....	44
4.3.2	Interpretación de las muestras de aceite Gulf del motor P-201 a 246 horas y Pdv del motor P-203 a 240 horas de la estación Santo Domingo.....	45
4.3.2.1	Interpretación de los metales de desgaste.....	45
4.3.2.1.1	Hierro.....	45
4.3.2.1.2	Cromo.....	46
4.3.2.1.3	Níquel.....	46
4.3.2.1.4	Aluminio.....	47
4.3.2.1.5	Plomo.....	48
4.3.2.1.6	Cobre.....	48
4.3.2.1.7	Estaño.....	49
4.3.2.2	Interpretación de los elementos contaminantes.....	50
4.3.2.2.1	Silicio.....	50
4.3.2.2.2	Sodio.....	51
4.3.2.3	Interpretación de los aditivos.....	52
4.3.2.3.1	Zinc.....	52
4.3.2.3.2	Fósforo.....	53
4.3.2.3.3	Calcio.....	53
4.3.2.3.4	Magnesio.....	54
4.3.2.4	Interpretación de los resultados del análisis físico.....	55
4.3.2.4.1	Viscosidad.....	55
4.3.2.4.1	TBN.....	56
4.3.2.4.1	Contenido de hollín en el aceite.....	56
4.3.2.4.1	Contenido de combustible en el aceite.....	57

4.3.2.4.1	Contenido de agua en el aceite.....	58
4.3.2.5	Interpretación del conteo de partículas.....	59
4.4	Valores obtenidos e interpretación de las muestras de aceite de la estación Corazón de los aceites Gulf y Pdv.....	60
4.4.1	Valores de las muestras de aceite Gulf a 300 horas y Pdv a 310 horas de servicio de la estación Corazón.....	60
4.4.2	Interpretación de las muestras de aceite Gulf del motor P-401 a 300 horas y Pdv del motor P-403 a 310 horas de la estación Corazón.....	61
4.4.2.1	Interpretación de los metales de desgaste.....	61
4.4.2.1.1	Hierro.....	61
4.4.2.1.2	Cromo.....	62
4.4.2.1.3	Níquel.....	62
4.4.2.1.4	Aluminio.....	63
4.4.2.1.5	Plomo.....	64
4.4.2.1.6	Cobre.....	64
4.4.2.1.7	Estaño.....	65
4.4.2.2	Interpretación de los elementos contaminantes.....	66
4.4.2.2.1	Silicio.....	66
4.4.2.2.2	Sodio.....	67
4.4.2.3	Interpretación de los aditivos.....	68
4.4.2.3.1	Zinc.....	68
4.4.2.3.2	Fósforo.....	69
4.4.2.3.3	Calcio.....	69
4.4.2.3.4	Magnesio.....	70
4.4.2.4	Interpretación de los resultados del análisis físico.....	71
4.4.2.4.1	Viscosidad.....	71
4.4.2.4.1	TBN.....	72
4.4.2.4.1	Contenido de hollín en el aceite.....	72
4.4.2.4.1	Contenido de combustible en el aceite.....	73
4.4.2.4.1	Contenido de agua en el aceite.....	74
4.4.2.5	Interpretación del conteo de partículas.....	75
4.5	Valores obtenidos e interpretación de las muestras de aceite Pdv de las estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	76
4.5.1	Valores de las muestras de aceite Pdv de las estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	76
4.5.2	Interpretación de las muestras de aceite Pdv de las estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	77
4.5.2.1	Interpretación de los metales de desgaste.....	77
4.5.2.1.1	Hierro.....	77
4.5.2.1.2	Cromo.....	78
4.5.2.1.3	Níquel.....	78
4.5.2.1.4	Aluminio.....	79
4.5.2.1.5	Plomo.....	80
4.5.2.1.6	Cobre.....	80
4.5.2.1.7	Estaño.....	81
4.5.2.2	Interpretación de los elementos contaminantes.....	82

4.5.2.2.1	Silicio.....	82
4.5.2.2.2	Sodio.....	83
4.5.2.3	Interpretación de los aditivos.....	84
4.5.2.3.1	Zinc.....	84
4.5.2.3.2	Fósforo.....	85
4.5.2.3.3	Calcio.....	85
4.5.2.3.4	Magnesio.....	86
4.5.2.4	Interpretación de los resultados del análisis físico.....	87
4.5.2.4.1	Viscosidad.....	87
4.5.2.4.1	TBN.....	88
4.5.2.4.1	Contenido de hollín en el aceite.....	89
4.5.2.4.1	Contenido de combustible en el aceite.....	90
4.5.2.4.1	Contenido de agua en el aceite.....	91
4.5.2.5	Interpretación del Conteo de Partículas.....	92

5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN BASE AL SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LOS MOTORES DE LAS ESTACIONES ESMERALDAS, SANTO DOMINGO, FAISANES Y CORAZÓN

5.1	Plan de mantenimiento predictivo en base al sistema de lubricación para los motores de la estación Esmeraldas.....	95
5.2	Plan de mantenimiento predictivo en base al sistema de lubricación para los motores de la estación Santo Domingo.....	96
5.3	Plan de mantenimiento predictivo en base al sistema de lubricación para los motores de la estación Faisanes.....	97
5.4	Plan de mantenimiento predictivo en base al sistema de lubricación para los motores de la estación Corazón.....	98

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	99
6.2	Recomendaciones.....	101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS.....	6
2.2	CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DE MOTORES A GASOLINA 4T...	14
2.3	CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DE MOTORES A DIESEL.....	15
2.4	GRADOS DE LIMPIEZA SEGÚN ISO 4406 Y NAS 1638.....	27
2.5	ESTADO DEL ACEITE EN FUNCIÓN DEL CÓDIGO ISO.....	28
2.6	DATOS TÉCNICOS DE LOS MOTORES MWM TBD 440.....	34
3.1	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES.....	41
3.2	PARÁMETROS AMBIENTALES DE LAS ESTACIONES.....	41
4.1	VALORES CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN ADMISIBLES EN EL ACEITE.....	42
4.2	VALORES DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV NUEVOS.....	43
4.3	VALORES DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO.....	44
4.4	CONTEO DE PARTÍCULAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO.....	59
4.5	VALORES ENCONTRADOS EN LAS MUESTRAS DE ACEITE GULF Y PDV EN LA ESTACIÓN CORAZÓN.....	60
4.6	CONTEO DE PARTÍCULAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN CORAZÓN.....	75
4.7	VALORES DE LAS MUESTRAS DEL ACEITE PDV DE LAS ESTACIONES SANTO DOMINGO, ESMERALDAS, FAISANES Y CORAZÓN.....	76
4.8	CONTEO DE PARTÍCULAS DE LAS ESTACIONES SANTO DOMINGO, ESMERALDAS, FAISANES Y CORAZÓN.....	92
5.1	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA ESTACIÓN ESMERALDAS.....	95
5.2	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO.....	96
5.3	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA ESTACIÓN FAISANES.....	97
5.4	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA ESTACIÓN CORAZÓN.....	98

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Blending de aceites bases.....	4
2.2	Actuación de los mejoradores del índice de viscosidad.....	7
2.3	Dona API.....	13
2.4	Rayaduras en la camisa.....	16
2.5	Componentes de desgaste de los motores.....	18
2.6	Rayaduras en los codos del cigüeñal causado por los abrasivos en la superficie del cojinete.....	19
2.7	Hollín en la cabeza del pistón.....	20
2.8	Método del tapón de drenaje.....	23
2.9	Método de la pistola de muestreo.....	24
2.10	Método del grifo o llave purgadora.....	25
2.11	Analizador de espectrometría infrarroja (FT-IR).....	26
2.12	Sistema de lubricación de los motores MWM 440.....	30
2.13	Bomba de lubricación.....	31
2.14	Filtro combinado de aceite.....	32
2.15	Refrigerador de aceite MWM.....	33
3.1	Determinación del punto de muestreo en el motor.....	36
3.2	Grifo o llave purgadora.....	37
3.3	Materiales utilizados en la toma de muestra de aceite.....	38
3.4	Procedimiento de limpieza de válvula y cañería.....	38
3.5	Recolección del aceite usado a analizarse.....	39
3.6	Muestra de aceite sellada.....	39
3.7	Inspección de la llave purgadora.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

<u>GRÁFICO</u>		<u>PÁGINA</u>
4.1	Hierro en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	45
4.2	Cromo en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	46
4.3	Níquel en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	46
4.4	Aluminio en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	47
4.5	Plomo en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	48
4.6	Cobre en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	48
4.7	Estaño en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	49
4.8	Silicio en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	50
4.9	Sodio en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	51
4.10	Zinc en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	52
4.11	Fósforo en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	53
4.12	Calcio en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	53
4.13	Magnesio en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	54
4.14	Viscosidad de aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	55
4.15	TBN de aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	56
4.16	Hollín en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	56
4.17	Combustible en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	57
4.18	Agua en aceites Gulf y Pdv de Santo Domingo.....	58
4.19	Hierro en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	61
4.20	Cromo en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	62
4.21	Níquel en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	62
4.22	Aluminio en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	63
4.23	Plomo en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	64
4.24	Cobre en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	64
4.25	Estaño en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	65
4.26	Silicio en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	66
4.27	Sodio en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	67
4.28	Zinc en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	68
4.29	Fósforo en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	69
4.30	Calcio en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	69
4.31	Magnesio en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	70
4.32	Viscosidad de aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	71
4.33	TBN de aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	72
4.34	Hollín en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	72
4.35	Combustible en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	73
4.36	Agua en aceites Gulf y Pdv de Corazón.....	74
4.37	Hierro en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón...	77
4.38	Cromo en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón...	78
4.39	Níquel en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	78
4.40	Aluminio en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	79
4.41	Plomo en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	80

4.42	Cobre en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	80
4.43	Estaño en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	81
4.44	Silicio en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	82
4.45	Sodio en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	83
4.46	Zinc en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	84
4.47	Fósforo en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón...	85
4.48	Calcio en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	85
4.49	Magnesio en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	86
4.50	Viscosidad de aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	87
4.51	TBN de aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	88
4.52	Hollín en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón....	89
4.53	Combustible en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	90
4.54	Agua en aceites Pdv de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón.....	91

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (American Society Testing of Materials)
TBN	Número Total de Bases (Total Base Numbers)
Cst	Unidad de la viscosidad cinemática, Centistoke
EP	Extrema Presión
FTIR	Prueba que utiliza la absorción de luz infrarroja para evaluar los niveles de hollín, sulfatos, la oxidación, nitro-oxidación, glicol, combustible y los contaminantes del agua (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
ISO 4406	Código asignado sobre la base del número de partículas por unidad de volumen superior a 5 y 15 micrómetros de tamaño
μ	Unidad de longitud, micrón, que describe el tamaño de los contaminantes
P	Presión generalmente expresado en libras por pulgada cuadrada
Psi	Libras por pulgada cuadrada
HVI	Alto Índice de Viscosidad (High Viscosity Index)
GPM	Galones por Minuto
HP	Caballos de Fuerza
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Standard Organization)
ASME	Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos
°C	Grados Centígrados
NAS	Estándar Nacional Aeroespacial
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers)
RPM	Revoluciones por Minuto
Vol	Volumen
T	Cambios de Temperatura
ppm	Partes por millón (1/ppm = 0,000001), en general, en peso 100 ppm = 0,01%; 10.000 ppm = 1%
MWM	Motoren Werke Mannheim
TBD	Motor Diesel con Refrigerador de Aceite Turboalimentado
mg.KOH/g	Miligramos de Hidróxido de Potasio por Mililitro de Aceite
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
6K y 8K	Potencia Reforzada 6 y 8 cilindros
m.s.n.m	Metros Sobre el Nivel del Mar
Fe	Hierro
Cr	Cromo
Ni	Níquel
Al	Aluminio
Pb	Plomo
Cu	Cobre
Sn	Estaño
Si	Silicio
Na	Sodio
P	Fósforo
Zn	Zinc
Ca	Calcio

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Reporte de Laboratorio Número 6032 del Aceite GULF Nuevo
- ANEXO 2:** Reporte de Laboratorio Número 2785 del Aceite PDV Nuevo
- ANEXO 3:** Reporte de Laboratorio Número 6033 del Aceite GULF de la Estación Corazón del Motor P-401, a 300 horas de uso
- ANEXO 4:** Reporte de Laboratorio Número 2789 del Aceite PDV de la Estación Esmeraldas del Motor P-103, a 246 horas de uso
- ANEXO 5:** Reporte de Laboratorio Número 2787 del Aceite PDV de la Estación Faisanes del Motor P-303, a 311 horas de uso
- ANEXO 6:** Reporte de Laboratorio Número 2788 del Aceite PDV de la Estación Santo Domingo del Motor P-203, a 240 horas de uso
- ANEXO 7:** Reporte de Laboratorio Número 6034 del Aceite GULF de la Estación Santo Domingo del Motor P-201, a 246 horas de uso
- ANEXO 8:** Reporte de Laboratorio Número 2786 del Aceite PDV de la Estación Corazón del Motor P-403, a 310 horas de uso

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enfocado en la Evaluación de la Degradación del Lubricante SAE 40 y en el Establecimiento de un Plan de Lubricación en los Motores MWM TBD 440 6K y 8K del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Pascuales, con la finalidad de determinar las horas correctas de cambio de aceite en los motores de las Estaciones Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y Corazón, por medio de la toma de muestras de aceite y su posterior análisis e interpretación.

Para realizar la toma de muestras de aceite, se instaló una válvula en la cañería que comunica la línea principal de lubricación con el manómetro de presión antes del filtro, en todos los motores analizados, y para la recolección del aceite usado se utilizaron recipientes plásticos de 500 ml.

Mediante el análisis e interpretación de los resultados de las muestras de aceite usado se determinó: que en las Estaciones Santo Domingo, Faisanes y Corazón el tiempo entre cambios de aceite se puede incrementar y en la Estación Esmeraldas el cambio de aceite se debe realizar antes de lo ya establecido, y que el aceite GULF brinda mejor protección a los motores que el PDV.

Se recomienda que el cambio de aceite en la Estación Santo Domingo se realice a las 300 horas de uso, en Esmeraldas así no haya cumplido las 250 horas se debe hacer a los 5 meses y en las Estaciones Faisanes y Corazón el cambio de aceite se debe realizar a las 500 horas.

SUMMARY

The present investigation work is focused on the Evaluation of the Degradation of the Lubricant SAE 40 and on the Establishment of a Lubrication Plan in the Motors MWM TBD 440 6K and 8K of the Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Pascuales Polyduct to determine the correct hours of the motor oil change of the Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes and Corazon Stations through oil sampling and its further analysis and interpretation.

To carry out the oil sampling valve in the piping which communicates the main lubrication piping to the pressure gage before the filter was installed in all analyzed motors, and for the used oil collection 500 ml plastic containers were used.

Through the analysis and interpretation of the results of the used oil samples it was determined that at the Santo Domingo, Faisanes and Corazon Stations the oil change time can be increased and at the Esmeraldas Station the oil change must be carried out before the established time, concluding that the GULF oil provides the best motor protection than the PDV.

It is recommended to change the oil at 300 hours use at the Santo Domingo Station, at the Esmeraldas Station it must be changed at 5 months regardless of the 250 hours and the Faisanes and Corazon Stations the oil change must be carried out at 500 hours.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Los motores MWM TBD 440 6K y 8K que son analizados en este estudio, tienen las siguientes especificaciones técnicas, trabajan con una potencia de 1050 HP los de 6 cilindros y con 1200 HP los de 8 cilindros, en ralentí tienen 550 RPM alcanzando revoluciones máximas de 900 RPM, el arranque de estos motores es neumático (aire comprimido), tienen una capacidad del cárter de 60 galones los de 6 cilindros y 75 galones los de 8 cilindros, con un consumo promedio de 35 galones/hora.

Tomando en cuenta que los motores MWM TBD 440 6K y 8K utilizados en el bombeo de productos refinados, como el Diesel 1, Diesel Premium, Gasolina Extra, Gasolina Súper, Jet Fuel, del poliducto ESMERALDAS - SANTO DOMINGO - QUITO - PASCUALES tienen un tiempo de trabajo de 30 años y los componentes de los mismos han sufrido desgaste y corrosión por el tiempo y horas de operación, se requiere hacer una evaluación de la degradación del lubricante SAE 40 que actualmente es el utilizado.

Antes de esta investigación no se ha realizado una evaluación de la degradación del lubricante para conocer el desgaste que existe en el motor y determinar si el período de cambio de aceite se lo está dando al tiempo de operación adecuado, ya que para todas las Estaciones el cambio del lubricante no se da a las mismas horas de operación, porque las condiciones ambientales y de operación no son iguales teniendo que, para las Estaciones Esmeraldas y Santo Domingo se lo está realizando a las 250 horas y para las Estaciones Faisanes y Corazón se lo viene realizando cada 300 horas de operación, esta diferencia es debida también a que en las dos Estaciones Faisanes y Corazón los motores se encuentran operando constantemente y en Santo Domingo y Esmeraldas son ayudados por un motor eléctrico que también se utiliza para el bombeo de productos, para los motores se utiliza el aceite lubricante SAE 40.

Con esta evaluación de la degradación del lubricante estaríamos determinando un óptimo mantenimiento predictivo.

1.2 Justificación

En Petrocomercial filial de Petroecuador se utilizan los motores MWM TBD 440 6K y 8K para el bombeo de productos refinados del petróleo, los mismos que están sometidos a cargas elevadas y horas de trabajo continuo, por lo que se considera prioritario realizar periódicas evaluaciones de la degradación del lubricante, esto con la finalidad de comprobar si el lubricante está cumpliendo con sus funciones, y por tanto, establecer un conjunto de recomendaciones para un plan de lubricación adecuado a los requerimientos de los motores pertenecientes a las Estaciones de bombeo.

Con el análisis y evaluación de la degradación del lubricante, se determina la vida útil del lubricante y se conoce cuál es el más adecuado para estos motores, teniendo presente ciertos parámetros de operación a los que están sometidos como potencia, número de revoluciones, horas de trabajo, caudal de bombeo y parámetros ambientales como temperatura, presión atmosférica y humedad del medio donde operan, con esto se tratará de mejorar el rendimiento y extender el período de cambio de aceite de los mismos.

Teniendo presente que en las diferentes Estaciones Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y Corazón del poliducto Esmeraldas - Santo Domingo - Quito - Pascuales se utilizan estos motores en un número total de 12; la evaluación del lubricante se va a realizar a un motor por Estación teniendo un total de 4, considerando las diferencias ambientales y de operación.

Se pretende realizar la evaluación al lubricante SAE 40 el cual es utilizado en la actualidad en los motores, de sus resultados y comparaciones con lubricantes de similares condiciones se determinará cual brinda mejor protección a los motores.

Por todos los beneficios mencionados para la empresa se hace necesario realizar la evaluación del lubricante, el cual es factible de realizar económica y técnicamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar la evaluación de la degradación del lubricante SAE 40 y establecer un plan de lubricación en los motores MWM TBD 440 6K Y 8K del poliducto Esmeraldas - Santo Domingo - Quito - Pascuales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar toda la información necesaria (bibliográfica y técnica) relacionada a los lubricantes y a los motores MWM TBD 440 6K y 8K.
- Obtener las muestras del lubricante de los motores de las cuatro estaciones a las distintas horas de operación.
- Interpretar los resultados del análisis del lubricante.
- Elaborar un plan de lubricación para los motores de las Estaciones Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y Corazón.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Los Lubricantes [1]

Se define como lubricante a toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

2.1.1 Industria de Aceites Lubricantes

Los procesos a seguir para la obtención de las distintas gamas de aceites lubricantes, tanto los tipos destinados a la industria como los de uso marino o automotriz, son los siguientes:

- El petróleo recibe un determinado tipo de refinamiento para obtener un producto básico, utilizado como materia prima en la elaboración de aceites, el mismo que es adquirido por la planta de mezcla. Usualmente se trabaja con tres tipos de básicos HVI 55, HVI 160 y HVI 650 (HVI High Viscosity Index, alto índice de viscosidad) los mismos que son almacenados en distintos tanques de acuerdo a sus viscosidades.
- Se efectúan las mezclas de estos productos básicos (usualmente dos) para obtener las viscosidades y calidades requeridas, al tiempo que esta mezcla es homogenizada, es “secada”, este es un proceso en el que mediante el calentamiento de la mezcla, (aproximadamente 60 grados centígrados), y durante un tiempo aproximado de 45 minutos, (depende de la humedad de los básicos), busca eliminar las trazas o presencia de humedad en dicha mezcla.



Figura 2.1: Blending de Aceites Bases

- Se complementan las características del lubricante, incorporando a aquellos que lo requieran, los distintos tipos de aditivos de acuerdo con su aplicación y posterior servicio; cabe señalar que durante los procesos de secado y homogenización del lubricante se toman muestras que son evaluadas en un laboratorio, el que es el responsable de la buena calidad del lubricante elaborado.

2.1.2 Aditivos Lubricantes y sus Propiedades

Como aditivos lubricantes se entienden aquellos compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades naturales de un lubricante y confiarle otras que no poseen y que son necesarias para cumplir su cometido.

Las exigencias de lubricación de los equipos modernos y grandes maquinarias en general, así como los motores de combustión interna de altas velocidades de rotación y pequeño cárter, obliga a reforzar las propiedades intrínsecas de los lubricantes, mediante la incorporación de aditivos químicos.

Los aditivos se incorporan a los aceites en diversas proporciones, desde partes por millón, hasta el 20% en peso de algunos aceites de motor, especialmente en lubricantes multigrados.

Fundamentalmente, los aditivos persiguen los siguientes objetivos:

- Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.
- Proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.
- Mejorar las propiedades fisicoquímicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

2.1.3 Clasificación de los Aditivos

Los aditivos normalmente utilizados en aceites lubricantes se podrían clasificar en los siguientes grupos, según sus propiedades.

Tabla 2.1: CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS

PROPIEDADES SOBRE LAS QUE ACTÚA		TIPOS DE ADITIVOS
Propiedades Físicas	Viscosidad	Mejorador del Índice de Viscosidad
	Congelación	Depresor del Punto de Congelación
Propiedades Químicas	Oxidaciones a baja y alta Temperatura	Antioxidantes
	Corrosiones	Anticorrosivos
	Herrumbres	Antiherrumbre
Propiedades Físico – Químicas	Detergente, Dispersante y Antioxidante	Detergentes y Antioxidantes Multifuncionales
	Aditivos de Extrema Presión	Anticorrosivos y de Extrema Presión
	Antiespumantes	Contra formación de espuma
	Emulgentes	Emulsionantes

2.1.4 Actuación de los Aditivos sobre las Propiedades Físicas del Aceite

2.1.4.1 Mejoradores del Índice de Viscosidad

El índice de viscosidad es un número adimensional, calculado mediante la determinación de la viscosidad del lubricante tomada a dos distintas temperaturas, el cual indica la resistencia que tiene un lubricante a cambiar su viscosidad con la temperatura.

El valor del índice de viscosidad con que se formula un lubricante, depende de la aplicación o tipo de trabajo a que este destinado dicho lubricante; por ejemplo los aceites para motor y los fluidos para transmisiones automáticas normalmente tienen un índice de viscosidad entre 85 y 150, mientras que algunos aceites hidráulicos y aceites especiales requieren valores de 200 o más.

Estos aceites son lo suficientemente delgados a bajas temperaturas para minimizar el arrastre viscoso cuando se arranca en frío. Al mismo tiempo, son lo suficientemente viscosos a las temperaturas de operación del motor para proporcionar una película de aceite que da una efectiva lubricación y sellado.

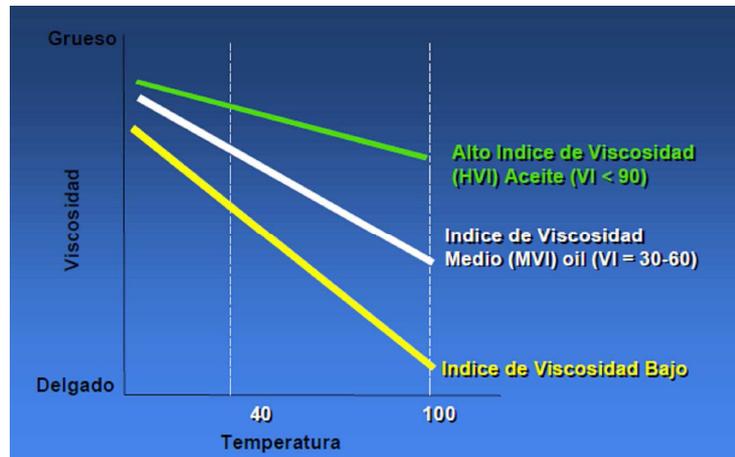


Figura 2.2: Actuación de los Mejoradores del Índice de Viscosidad

2.1.4.2 Depresores del Punto de Congelación

Los depresores del punto de congelación son compuestos químicos especiales que aumentan efectivamente la gama de trabajo de los aceites en condiciones de baja temperatura ambiental. Estos compuestos químicos inhiben el crecimiento de cristales de cera de aceite. Estos cristales podrían finalmente formar una red que impidiera el flujo del aceite.

2.1.5 Actuación de los Aditivos sobre Propiedades Químicas del Aceite

2.1.5.1 Antioxidantes

En términos generales la oxidación está influenciada por los siguientes parámetros:

Temperatura, oxígeno, tiempo, impurezas químicas en el aceite. Como consecuencia de estas reacciones, el aceite se enturbia, aumenta la viscosidad y se forman lodos. Los antioxidantes o inhibidores de oxidación, son aditivos que se emplean para reducir estos efectos nocivos de la oxidación del aceite, son sustancias capaces de retardar o impedir la fijación de oxígeno libre sobre los compuestos auto-oxidables.

2.1.5.2 Anticorrosivos

El término de “inhibidores de corrosión” se aplica a los productos que protegen los metales no ferrosos susceptibles a la corrosión, presentes en un motor o mecanismos susceptibles a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el lubricante. Por lo general, los metales no ferrosos en un motor se encuentran en los cojinetes.

2.1.5.3 Antiherrumbre

El término antiherrumbre se usa para designar a los productos que protegen las superficies ferrosas contra la formación de óxido.

En los sistemas de lubricación recirculante el aceite utilizado debe soportar la presencia de agua, libre y/o disuelta en el mismo, procedente en la mayoría de los casos de la condensación, conduce a la formación de herrumbre en las superficies de hierro o acero. Para evitarlo se incorpora al aceite, aditivos con una especial atracción polar hacia dichas superficies, consiguiendo así la formación de una película muy tenaz que actúa de barrera contra la humedad.

2.1.6 Actuación de los Aditivos sobre Propiedades Físico – Químicas del Aceite

2.1.6.1 Detergentes

Son aquellos aditivos capaces de evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en las ranuras de los motores de combustión interna cuando operan a altas temperaturas, así como la acumulación de depósitos en faldas de pistón, guías y vástagos de válvulas.

Como aditivos antiácidos, alcalinos o súper básicos (que de todas estas formas se denominan), se entienden aquellos productos generalmente del tipo detergente, que poseen una reserva alcalina capaz de neutralizar los ácidos que se originan de la combustión del azufre presente en el combustible. Dicha reserva alcalina se expresa en T.B.N. (Total Base Number).

2.1.6.2 Dispersantes

Los dispersantes son componentes aditivos que no contienen elemento metálico, por lo que si se quemaran en el motor no dejan ningún residuo o ceniza. Estos dispersantes se usan para mantener el hollín y otros contaminantes sólidos finamente dispersados o finamente diluidos.

Los dispersantes reducen la formación de sedimentos y también la tendencia al bloqueo prematuro del filtro de aceite. Los dispersantes comprenden del 50 al 60 % de la mayoría de los aditivos modernos de aceite de motor.

2.1.6.3 Antiespumantes

Cuando un aceite está sometido a una acción de batido o agitación violenta en presencia de aire, este queda incluido en la masa de aquel en forma de burbujas de distinto tamaño que tienden a subir a la superficie, formando una espuma más o menos persistente. Los problemas que crea la espuma pueden eliminarse adicionando a los aceites aditivos antiespumantes que disminuyen el valor de la tensión superficial del aceite, ocasionando que las burbujas se rompan con mayor facilidad.

2.1.6.4 Aditivos Emulsionantes

Estos se emplean en los aceites que se destinan a la lubricación de máquinas expuestas al agua, pues forman una emulsión perfecta con ella, evitando que el aceite sea desplazado o lavado con los órganos a lubricar.

2.1.6.5 Aditivos de Extrema Presión

Como aditivos de extrema presión o E.P. se denominan a aquellos productos químicos capaces de evitar el contacto destructivo metal-metal, una vez que ha desaparecido la película clásica de lubricante.

Donde las condiciones de operación no son tan severas, cual es el caso de los aceites de cárter, el agente E.P. más utilizado es el ditiofosfato de zinc, ya que su propiedad E.P. une otras muy valiosas como: antioxidantes, anticorrosivos, etc.

2.1.6.6 Aditivos Multifuncionales

Son aquellos que en una sola molécula encierran propiedades múltiples: detergente, dispersante, antioxidante, mejorador de índice de viscosidad, etc.

2.1.7 Actuación y Fuentes de los Aditivos Metálicos en el Aceite [2]

2.1.7.1 Zinc (Zinc) Zn

El Zinc se encuentra en los motores en las superficies galvanizadas como los cojinetes de biela y bancada y en el aceite como aditivo antidesgaste, antioxidante e inhibidor de la corrosión.

Los valores de Zinc y Fósforo no varían mucho en el uso dentro del motor porque aunque llega a fin de su vida útil por no poder ser adherido a las superficies, el laboratorio lo lee igual, la mayoría de la variación que se ve en el aceite usado es lo quemado o evaporado. Muchas veces la baja en el nivel de zinc o fósforo es por la volatilidad (calidad) del aditivo utilizado y el aumento debido a desgaste de piezas que lo contienen.

2.1.7.2 Fósforo (Phosphorus) P

El Fósforo al igual que el Zinc actúa en el aceite como aditivo antidesgaste, antioxidante e inhibidor de corrosión y sufre degradación por los agentes anticuerpos, reductores del depósito de la cámara de combustión, bujías, y como contaminante se lo encuentra en pequeñas proporciones debido al desgaste del cilindro y anillos superiores de pistón.

2.1.7.3 Boro (Boron) B

El boro está presente en el aceite como aditivo antidesgaste, modificador de fricción, detergente, antioxidante y refrigerante.

2.1.7.4 Calcio (Calcium) Ca

Está presente en el aceite como aditivo detergente, dispersante para combatir el hollín, neutralizar los ácidos formados por la humedad en la combustión, mantener los contaminantes y lodos en suspensión hasta llegar al filtro sin dejar que se aglomeren ni que se adhieran a las superficies metálicas, y como contaminante se lo encuentra debido a la presencia de polvo, tierra, ceniza.

2.1.7.5 Magnesio (Magnesium) Mg

Se encuentra en el aceite como aditivo detergente, dispersante para combatir el hollín y mantener los contaminantes y lodos en suspensión, y como contaminante se lo encuentra en aleación con el zinc como recubrimiento de los cojinetes de biela y bancada o por contaminación por agua salada.

2.2 Lubricantes para Motores de Combustión Interna [3]

2.2.1 Condiciones a las que está sometido un Aceite de Motor

Es de gran utilidad determinar las condiciones a las que se encuentra sometido un lubricante, dependiendo del ambiente, donde realizará ciertas tareas que ayudarán al buen desempeño del mecanismo en acción. En el caso de motores de combustión interna, las principales condiciones a las que está sometido un aceite son las siguientes:

- Temperaturas extremas.
- Grandes velocidades de fricción (0 - 500 rev/min.).
- Tolerancias mínimas, requerimientos de fabricantes.
- Ambientes nocivos - gases nocivos.
- Poca capacidad de cárter.

Además de estas, existen condiciones especiales, determinadas por la aplicación del lubricante y la calidad del combustible disponible. Por ejemplo, los motores diesel funcionan normalmente a velocidades más bajas pero temperaturas más altas que los motores a gasolina, y estas condiciones fomentan la oxidación del lubricante, la formación de depósitos y la corrosión del metal de los cojinetes.

2.2.2 Funciones que deben satisfacer los Aceites de Motor

Tomando en consideración las condiciones a las que está sometido un aceite de motor se pueden determinar las acciones que debe realizar el mismo, para ofrecer una buena protección de la máquina, entre las principales tenemos:

- Refrigerar.
- Reducir desgastes.
- Evitar corrosión en cojinetes.
- Reducir la acumulación de depósitos.
- Mantener en suspensión los contaminantes.
- Reducción de ruidos.

2.2.3 Características adecuadas para cumplir éstas funciones

Para que el lubricante pueda realizar las acciones anteriormente descritas, hay que considerar en primera instancia la materia prima o aceite básico utilizado, que de por sí las puede realizar (ya sea en menor o mayor grado); y el paquete de aditivos que reforzará o agregarán cualidades para que el lubricante pueda realizar dichas funciones; cualidades como:

- Viscosidad adecuada.
- Propiedades antidesgaste.
- Propiedades inhibidoras de corrosión.
- Propiedades detergentes.
- Propiedades dispersantes.

2.2.4 Clasificación de los Aceites para Motor [4]

La clasificación de los aceites de motor, se basa en consideraciones precisas, casi todas ellas de origen estadounidense. Estas especificaciones han sido establecidas por las fuerzas armadas norteamericanas, después adoptadas por las fuerzas militares de otras naciones y finalmente por usuarios civiles. No obstante, entre los grandes fabricantes y usuarios, existe la tendencia de establecer especificaciones que sean más aptas a sus propias necesidades. Estas clasificaciones y especificaciones se pueden realizar generalmente, por la viscosidad y por el tipo de servicio del lubricante.

2.2.4.1 Por su Viscosidad (SAE)

Fue establecida por el organismo norteamericano SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices), excluyendo cualquier otra consideración de calidad; por ejemplo: 0W - 5 W - 10 W - 15 W - 20 W - 25 W - 30 - 40 - 50 - 60 y aceites multigrados (lubricantes de superior índice de viscosidad, por ejemplo 20W50, se comporta como SAE 20W a baja temperatura y SAE 50 en alta temperatura).

2.2.4.2 Por el Tipo de Servicio (API)

Es el complemento indispensable a la expresada por la viscosidad en grados SAE. Los sistemas más utilizados son de origen norteamericano establecidos por el API (Instituto Americano del Petróleo).

Fueron implantados y aceptados en 1947. Aunque cualquier proveedor de aceites puede utilizar las categorías de servicio API, para indicar el nivel de rendimiento de cualquiera de sus aceites comerciales, solo las compañías certificadas con licencia pueden imprimir el símbolo API (la dona) en sus etiquetas.

SÍMBOLO A.P.I. "DONA"



Figura 2.3: Dona A.P.I.

2.2.4.3 Aceites para Motores a Gasolina

La clasificación de los aceites para motores a gasolina, por el tipo de servicio que realiza es la siguiente:

Tabla 2.2: CLASIFICACIÓN A.P.I. PARA ACEITES DE MOTORES A GASOLINA 4T

Categoría	Estado	Servicio
SM	Vigente	Para todos los motores de automóvil en uso en la actualidad. Los aceites SM, introducidos en el año 2004, están diseñados para brindar una mayor resistencia contra la oxidación, una mejor protección contra la formación de depósitos, una mejor protección contra el desgaste, y un mejor desempeño a baja temperatura durante la vida del aceite. Algunos aceites SM pueden calificar como conservadores de energía.
SL	Vigente	Para todos los motores de vehículos en uso actualmente. Se introdujeron el 1 de Julio de 2001. Los aceites SL están formulados para permitir un mejor control de los depósitos a altas temperaturas, así como un menor consumo. Algunos de estos aceites también pueden satisfacer las más recientes especificaciones de conservación de energía.
SJ	Vigente	Para motores de 2001 y anteriores.
SH	Obsoleto	Para motores de 1996 y anteriores. Se pueden usar cuando van precedidos de una categoría C en las indicaciones de servicio.
SG	Obsoleto	Para motores de 1993 y anteriores.
SF	Obsoleto	Para motores de 1988 y anteriores.
SE	Obsoleto	Para motores de 1979 y anteriores.
SD	Obsoleto	Para motores de 1971 y anteriores.
SC	Obsoleto	Para motores de 1967 y anteriores.
SB	Obsoleto	Para motores más viejos. Utilícese únicamente bajo recomendación específica del fabricante.
SA	Obsoleto	Para motores más viejos; sin especificaciones de desempeño. Utilícese únicamente bajo recomendación específica del fabricante.

2.2.4.4 Aceites para Motores a Diesel

La clasificación de los aceites para motores a Diesel, por el tipo de servicio que realiza es la siguiente:

Tabla 2.3: CLASIFICACIÓN A.P.I. PARA ACEITES DE MOTORES A DIESEL

Categoría	Estado	Servicio
CI-4	Vigente	Se introdujeron el 5 de septiembre del 2002. Para motores de cuatro tiempos y altas revoluciones que deben ajustarse a las normas de emisiones establecidas en el 2002. Los aceites CI-4 están formulados para alargar la vida útil de los motores que funcionen con recirculación de los gases de la combustión (EGR) y para ser usados con combustible diesel con un contenido de azufre de hasta 0.5% en peso.
CH-4	Vigente	Se introdujeron en 1998. Para motores de cuatro tiempos y altas revoluciones que deben ajustarse a las normas de emisiones de 1998. Los aceites CH-4 están formulados específicamente para ser usados con combustible diesel con un contenido de azufre de hasta 0.5% en peso.
CG-4	Vigente	Se introdujeron en 1995. Para motores de cuatro tiempos y altas revoluciones de servicio extremo que usan combustibles con un contenido de azufre de menos de 0.5% en peso.
CF-4	Vigente	Se introdujeron en 1990. Para motores normalmente aspirados y turboalimentados de cuatro tiempos y altas revoluciones.
CF-2	Vigente	Se introdujeron en 1994. Para motores de dos tiempos de servicio externo.
CF	Vigente	Se introdujeron en 1987. Para motores diesel de inyección indirecta de vehículos todo terreno y otros motores diesel, incluidos los que usan combustible con un contenido de azufre de 0.5% en peso.
CE	Obsoleto	Se introdujeron en 1987. Para motores de cuatro tiempos y altas revoluciones normalmente aspirados y turboalimentados.
CD-II	Obsoleto	Se introdujeron en 1987. Para motores de dos tiempos.
CD	Obsoleto	Se introdujeron en 1955. Para ciertos motores normalmente aspirados y turboalimentados.
CC	Obsoleto	Para motores introducidos en 1961.
CB	Obsoleto	Para motores de servicio moderado desde 1949 hasta 1960.
CA	Obsoleto	Para motores de servicio ligero (años 40's y 50's)

2.2.5 Componentes de Desgaste de los Motores [5]

Es de gran importancia, conocer los componentes metálicos de los que están constituidas las diferentes partes de un motor y el origen de los contaminantes y aditivos, para luego determinar a través de un análisis de aceite usado los posibles elementos que podrían tener un desgaste acelerado y tomar las debidas acciones correctivas, entre los principales elementos tenemos:

2.2.5.1 Hierro (Iron) Fe

El Hierro está presente en las camisas de cilindros, anillos de pistón, tren de válvulas, pasadores de biela, árbol de levas, válvula de escape, cigüeñal, carcasa, bomba de aceite, guías de válvulas y cojinetes antifricción.



Figura 2.4: Rayaduras en la Camisa

2.2.5.2 Cromo (Chromium) Cr

El Cromo se encuentra en cojinetes de rodillos/bolas, bujes, intercambiador de aceite, guías de válvulas, bujes de bielas, revestimiento del árbol de levas y válvulas de escape.

2.2.5.3 Níquel (Nickel) Ni

Al Níquel lo encontramos en revestimiento de ejes y tren de válvulas.

2.2.5.4 Aluminio (Aluminum) Al

Al Aluminio lo encontramos en cojinetes de bancada, cojinete de biela, cojinete del árbol de levas, cojinete de balancín, soporte de balancín, cojinete de bomba de aceite, levantador de válvula de inyector de bomba de combustible, carcasa, pistones, bujes (varios) arandelas de empuje, bomba de combustible.

Una parte de esto puede ser desgaste. La otra parte viene del aire contaminado con tierra que se introduce en el motor. La tierra y polvo que respira el motor contiene un porcentaje de aluminio que varía entre 0.29% a 0.33%.

Esto quiere decir que por cada 10 ppm de tierra que se observa en el análisis, se debe tener cerca de 3 ppm de Aluminio por la tierra. Si la muestra tiene 10 ppm de silicio y 5 ppm de aluminio, 2 ppm serán provenientes del desgaste. La contaminación de aluminio se evita controlando el ingreso de silicio.

2.2.5.5 Plomo (Lead) Pb

Al plomo lo encontramos en el revestimiento de cojinetes de bancada, de biela, del árbol de levas, cojinetes del turbo alimentador y arandelas de empuje.

2.2.5.6 Cobre (Copper) Cu

El Cobre está presente en cojinetes, bujes, arandelas de empuje, guías de válvula, pasador de biela, balancín, eje de rodillo de leva, bomba de inyección de combustible, corrosión del intercambiador de aceite, bomba de agua, mando de bomba de aceite y como aditivo del aceite.

2.2.5.7 Estaño (Tin) Sn

Al Estaño lo encontramos de los cojinetes, bujes de bielas, recubrimiento de los pistones, también está presente como un aditivo del aceite, por lo general, en relación con los lubricantes que contienen compuestos de molibdeno.

2.2.5.8 Plata (Silver) Ag

La Plata la encontramos en acabados de cojinetes de fricción y bujes del pistón.

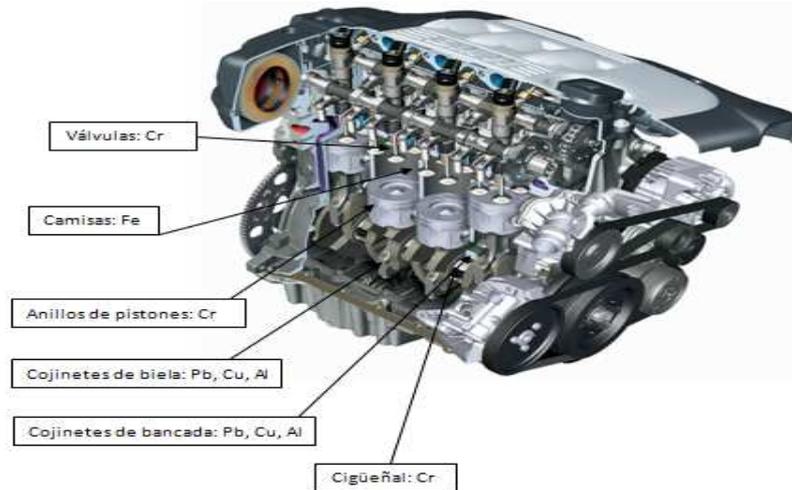


Figura 2.5: Componentes de Desgaste de los Motores

2.3 Análisis de Aceite Usado

2.3.1 Beneficios del Análisis de Aceite Usado

El análisis de aceite usado, es una herramienta de administración del mantenimiento para todos los motores y las máquinas. Es un mantenimiento predictivo moderno y básico, ningún otro análisis es tan completo, ni tan confiable para pronosticar el riesgo de problemas. Sus beneficios son:

- Las reparaciones pequeñas siguen siendo pequeñas; el análisis de aceite usado advierte con anticipación que hay problemas antes que estos se tornen en problemas serios.
- Evita reparaciones innecesarias; este análisis ahorra tiempo y dinero porque identifica lo que necesita reparaciones.
- Permite programar el tiempo inactivo para que no interfiera con el plan de trabajo.
- Reduce el tiempo que lleva hacer las reparaciones; ayuda a identificar con precisión las áreas problemáticas. No se pierde tiempo innecesario en armado y desarmado.
- Mejora el programa de mantenimiento; ayuda a estabilizar un presupuesto de mantenimiento, porque da un pronóstico de las reparaciones necesarias y el tiempo inactivo para que se realice algunos ahorros antes de que ocurra la falla.
- Vigila las prácticas de mantenimiento; las pruebas rutinarias del aceite verifican que un mantenimiento concienzudo realmente se lleva a cabo.

2.3.2 Contaminación del Aceite de Motor [6]

El análisis de aceite identifica y mide varios contaminantes en el lubricante y las razones de la descomposición de éste, que pueden causar desperfectos a la máquina. A continuación se dan algunos ejemplos de la causa y sus efectos en el equipo.

2.3.2.1 Fuentes de los Elementos Contaminantes.

2.3.2.1.1 Silicio (Silicon) Si

El Silicio es típicamente asociado con la contaminación por entrada de polvo, tierra, grasa con contenido de sílice.

También puede haber Silicona en los aditivos del aceite como antiespumante. Por eso se requiere una muestra del aceite virgen para comparar los resultados. Si el aceite nuevo tiene 3 ppm de silicio y el usado tiene 10 ppm, 7 ppm entraron del medio ambiente. Tenemos que preocuparnos del silicio que viene de la tierra.



Figura 2.6: Rayaduras en los Codos del Cigüeñal Causado por los Abrasivos en la Superficie del Cojinete

2.3.2.1.2 Sodio (Sodium) Na

Si una muestra es tomada con el motor caliente, cualquier ingreso de agua normalmente debería haberse evaporado y solo dejar residuos de sus minerales. En algunos casos el sodio puede entrar con la humedad del aire al motor, pero generalmente es un residuo de agua. Esta agua puede haber entrado por una empaquetadura de culata "soplada", camisa o bloque perforado, por donde se mide el aceite o

simplemente por lavado del motor con agua a alta presión, por la combustión puede acumularse en el aceite durante marcha sin carga prolongada u operación a baja temperatura, también está presente como aditivo del aceite.

2.3.2.1.3 Hollín

Su presencia se debe a una relación inadecuada de aire/combustible, operación inadecuada del motor, anillos desgastados o atorados, baja calidad del combustible, baja compresión, inyectores defectuosos.



Figura 2.7: Hollín en la Cabeza del Pistón

2.3.2.1.4 Agua

Su efecto sobre el aceite resulta muy perjudicial ya que se forman emulsiones, que junto con la suciedad forman depósitos que interfieren la lubricación correcta, también ocasiona herrumbre y corrosión en los circuitos de lubricación de los motores.

Su presencia se debe a condensación del vapor cuando el motor deja de funcionar o contaminación debido a fallas en el sistema de refrigeración y no debe exceder del 0,3 %.

2.3.2.1.5 Combustible

Su presencia se debe a razón inadecuada de aire/combustible, inyectores deficientes o con fugas, fugas en las líneas de combustible, combustión incompleta, anillos y camisas desgastadas.

2.3.2.1.6 Variación de la Viscosidad

Se produce disminución de la viscosidad por la dilución por combustible debido a inyectores defectuosos, marcha prolongada sin carga, tiempo de inyección no apropiado, fuga de combustible, filtro de aire tapado; y el aumento de viscosidad suele significar que ha habido oxidación del aceite causado por sobrecalentamiento del motor, aireamiento (aire mezclado dentro del aceite), presencia de partículas de desgaste de metal que aceleran la reacción química entre el oxígeno y el aceite lo que provoca que el aceite se haga espeso, sedimentos, gomas, compuestos ácidos, agua, hollín y polvo.

2.3.2.1.7 Degradación del Número Total de Bases (TBN)

Indica la alcalinidad que posee un aceite para neutralizar los productos ácidos procedentes de la combustión y oxidación del aceite, se expresa en miligramos de KOH necesarios para neutralizar todos los componentes ácidos que se encuentran en un gramo de aceite.

La disminución del TBN es debido al contenido de azufre en el combustible, oxidación del aceite, elevada temperatura del motor, presencia de compuestos derivados de la combustión y degradación de los aditivos del aceite, como norma el cambio de aceite debe hacerse cuando en TBN alcanza el 50 % del valor original, ya que si es inferior a este valor se originaría la aparición de productos fuertemente corrosivos y depósitos dañinos para el motor.

2.3.3 Métodos para la toma de Muestra de Aceite de Motor [7]

La toma de muestra es el aspecto más crítico del análisis de aceite. Si no se obtiene una muestra representativa, todos los esfuerzos subsecuentes del análisis de aceite serán anulados.

Para asegurar la buena densidad de información y minimizar la distorsión de la información en el muestreo de aceite, se deben considerar los siguientes factores:

- **Localización del puerto de muestreo:** no todas las ubicaciones de la máquina producen la misma información. Algunos son más ricos en información que otros. Algunas máquinas requieren múltiples puertos de muestreo para responder cuestiones específicas relacionadas con la condición de la máquina, generalmente por excepción.

- **Procedimiento de muestreo:** el procedimiento mediante el cual se extrae la muestra de aceite es crítico en el éxito del análisis de aceite. Los procedimientos de muestreo deben ser documentados y seguidos uniformemente por todos los miembros del equipo de análisis de aceite.
- **Dispositivos de muestreo:** el instrumental usado para extraer la muestra no debe alterar la calidad de la misma. Debe ser fácil de usar, robusto y costo-eficiente.
- **Botella de muestra:** tanto el tipo de botella como su limpieza deben ayudar a asegurar que se obtenga una muestra representativa.

Se aconseja invertir tiempo y recursos en cerciorarse que la máquina este equipada convenientemente con el equipo de muestreo para asegurar que se alcancen las metas y los objetivos de la toma de muestra.

2.3.3.1 Localizaciones del punto de muestreo en Sistemas Circulatorios

Hay varias reglas para la localización adecuada de los puertos de muestreo en sistemas circulatorios. Estas reglas no siempre se pueden seguir al pie de la letra debido a varias restricciones en el diseño de la máquina, su aplicación, y medio ambiente de la planta. Sin embargo, la importancia del correcto muestreo de aceite no se puede ignorar tomándose como una prioridad para el análisis de aceite. Siga lo mejor posible las reglas siguientes:

- **Turbulencia:** las mejores ubicaciones de muestreo son de alta turbulencia. Esto significa que el aceite no está fluyendo en una línea recta, sino que está girando y rotando en la tubería. Las válvulas de muestreo instaladas en ángulos rectos con relación al flujo, en líneas de retorno rectas muy largas, pueden dar como resultado la pérdida de las partículas (que pasan de largo), esto puede evitarse ubicando las válvulas de muestreo en codos y curvas pronunciadas en la línea de flujo.
- **Puntos de ingreso:** en donde sea posible, ubique los puertos de muestra después de los componentes que se desgastan y donde ingresan partículas y humedad. Las líneas de retorno y líneas de drenado que regresan al tanque proporcionan los niveles más representativos de partículas de desgaste y contaminantes. Una vez que el fluido llega al tanque la información se diluye.
- **Filtración:** los filtros y separadores son removedores de contaminantes, por lo tanto, pueden eliminar información valiosa de la muestra de aceite. Siempre ubique las válvulas de muestreo antes de los filtros, separadores, deshidratadores, y tanques de asentamiento, a menos que se esté evaluando específicamente el desempeño del filtro.

- **Líneas de drenado:** en líneas de drenado donde los fluidos se mezclan con el aire, ubique las válvulas de muestreo en lugares donde el aceite circule y se acumule. En tuberías horizontales, esto será en lado inferior del tubo.

Hay tres métodos diferentes para obtener muestra de aceite:

2.3.3.2 Método del Tapón de Drenaje

El tapón de drenaje está ubicado en la parte inferior del colector de aceite (cárter). La forma más común de obtener una muestra usando este método es tomándola mientras se drena el aceite del motor, las muestras tomadas del fondo del cárter pueden contener partículas metálicas o contaminación y pueden no tener relación con la condición real de la unidad, es por esto que la muestra se debe tomar después de drenar entre un tercio y la mitad de la capacidad del cárter.

Las muestras deben tomarse con el aceite caliente, ya que el aceite frío puede estar estratificado, debido a la sedimentación del material denso en el mismo, ésta no es la manera más aconsejable de tomar una muestra de aceite.



Figura 2.8: Método del Tapón de Drenaje

2.3.3.3 Método de la Pistola de Muestreo

La muestra es tomada con una pistola o bomba que succiona el aceite del cárter, con una manguera que es introducida por la bayoneta. Básicamente, la pistola tiene tres partes: una pistola de

succión, una botella para la muestra y un tubo plástico o manguera. Para cada muestra se usa tanto una botella como un tubo plástico nuevos, para prevenir la contaminación cruzada de una muestra a la otra.

Este método de muestreo tiene muchas desventajas y no debe utilizarse si se quiere evitar los siguientes riesgos y problemas asociados con el uso de bomba de vacío y manguera plástica:

- **Ubicación de la manguera:** una manguera que se introduce directamente dentro del puerto de llenado o de indicador de nivel, es muy difícil de controlar. La posición final de la manguera es difícil de predecir, dando como resultado que las muestras sean tomadas de diferentes lugares cada vez. Siempre existe el riesgo de que la manguera vaya hasta el fondo del tanque o depósito, en donde están concentradas las partículas y los sedimentos.
- **Contaminación de la manguera:** existe la posibilidad de que la manguera recoja partículas de los lados del contenedor mientras está siendo introducida. Igualmente, la manguera misma puede estar contaminada, debido a mala limpieza cuando fue producida o mientras estaba en almacenamiento.
- **Gran volumen de purga:** este método incrementa sustancialmente el volumen de fluido que debe ser purgado para que la muestra sea representativa. En algunos sistemas de depósitos pequeños, esto prácticamente representa cambiar el aceite. Así mismo, si el volumen de fluido no es reemplazado, la máquina podría ser operada con un volumen de lubricante inadecuado.
- **Precipitación de partículas:** en la mayoría de los sistemas, se debe parar la operación mientras se efectúa el método de toma de muestra por manguera y succión. Esto significa que la producción se verá afectada en beneficio del muestreo de aceite o la frecuencia de muestreo debe alterarse debido a las prioridades de producción. Ninguna de estas situaciones es ideal. Así mismo, las partículas comienzan a asentarse y estratificarse en función de sus dimensiones inmediatamente después de apagar el equipo y comprometen la calidad del análisis de aceite.



Figura 2.9: Método de la Pistola de Muestreo

2.3.3.4 Método del Grifo

Probablemente, la manera más precisa de obtener una muestra de lubricante es mediante grifos instalados especialmente en el motor. Una buena ubicación para un grifo es la galería de aceite principal donde se instala una T fuera del bloque para insertar la válvula de grifo. Esta puede instalarse donde se ubique la unidad de transmisión de presión de aceite. Otra posición buena es cerca del filtro del tipo de derivación, una T puede ser instalada en la entrada del filtro de aceite.

Los métodos más aconsejados para la toma de muestras son: el método del grifo o el de la pistola de muestreo, porque permiten obtener muestras representativas que indiquen valores confiables del desempeño del lubricante, además en ambos métodos se puede tomar la muestra sin la necesidad de apagar el motor o esperar a que este se enfríe, lo que beneficia a los resultados del análisis. En nuestro medio el método más empleado es el de la pistola de muestreo, por la ventaja de ser un accesorio externo y no algo acoplado al motor, su pequeño tamaño lo hace fácil de transportar y resulta muy conveniente para tomar muestras de cualquier tipo de motor, transmisión, mando final, sistema hidráulico, etc.



Figura 2.10: Método del Grifo o Llave Purgadora

2.3.4 Pruebas realizadas a las Muestras de Aceite [8]

2.3.4.1 Espectrofotometría por Emisión Atómica

Es la prueba tradicional de desgaste que permite analizar el contenido en ppm (partes por millón) de cada elemento metálico presente en la muestra de aceite reflejando la tendencia constante al desgaste de los componentes mecánicos que lubrica el aceite. La Espectrofotometría por Emisión Atómica se efectúa paralelamente con el análisis Físico-Químico del aceite usado.

Dentro del intervalo de cambio del aceite se pueden llevar a cabo uno ó más análisis de desgaste; el número dependerá del tipo de máquina y de sus condiciones de operación. El contenido en ppm de los diferentes metales presentes en la muestra de aceite usado debe estar dentro de la tendencia constante al desgaste de ese elemento mecánico; si está por encima existe la "posibilidad" de que se esté presentando un problema en el mecanismo como por ejemplo desalineamientos, desbalanceos, etc. Los principales inconvenientes que presenta la Espectrofotometría por Emisión Atómica para tomarla como herramienta única en la toma de decisiones sobre la criticidad del desgaste de un componente mecánico es que no permite evaluar las partículas mayores de 10 μ , ni el número ni su forma. No es lo mismo tener 100 ppm de hierro de un tamaño de 20 μ que de 2 μ . Por lo tanto es necesario recurrir a la técnica del Conteo de Partículas para verificar si el incremento de la tendencia normal al desgaste del mecanismo reviste alguna gravedad y es necesario por lo tanto programar la parada del equipo y reemplazar el componente desgastado.



Figura 2.11: Analizador de Espectrometría Infrarroja (FT-IR)

2.3.4.2 Conteo de Partículas

El conteo de partículas de los aceites se realiza mediante las normas internacionales de filtración ISO 4406:87 que clasifica las partículas por el grado de contaminación en función del tamaño/concentración y según códigos ISO R2/R5/R15, la cual especifica el nivel de limpieza de un aceite con base en tres números, el primero de los cuales indica el número de partículas mayores a 2 μ , el segundo a 5 μ y el tercero a 15 μ , presentes en 100 ml de muestra del aceite evaluado y la norma NAS 1638 que las clasifica en 15 clases de acuerdo al tamaño/concentración basadas en la dimensión mayor.

Para los aceites de los motores de combustión interna se ha establecido el código de limpieza según las normas ISO 4406:87 de 19/17/14 y según la NAS 1638 la clase 9, los cuales presentarán un valor alto si el contenido de partículas es elevado y como consecuencia un aceite sucio y viceversa.

Si las partículas de 2 a 5 μ están por fuera del rango establecido, es un indicativo de que se está presentando desgaste erosivo y se deben analizar las causas que lo están generando (alta viscosidad o presencia de partículas sólidas), sin embargo este tipo de desgaste no es crítico pero se deben tomar las medidas correctivas necesarias (como la filtración del aceite), si las de 15 en adelante están fuera del código ISO es señal inequívoca que se está presentando un daño grave en el motor.

Tabla 2.4: GRADOS DE LIMPIEZA SEGÚN ISO 4406 Y NAS 1638.

NAS 1638	Cantidad máxima de partículas/100 ml en cada rango de tamaño específico (μ m)						ISO 4406:87 Código ISO
	> 2	> 5	> 15	> 25	> 50	> 100	
000	195	76	14	3	1	0	8/6/3
00	390	152	27	5	1	0	9/7/4
0	780	304	54	10	2	0	10/8/5
1	1560	609	109	20	4	1	11/9/6
2	3120	1220	217	39	7	1	12/10/7
3	6520	2430	432	76	13	2	13/11/8
4	12500	4860	864	152	26	4	14/12/9
5	25000	9730	1730	306	53	8	15/13/10
6	50000	19500	3460	612	106	16	16/14/11
7	100000	38900	6920	1220	212	32	17/15/12
8	200000	77900	13900	2450	424	34	18/16/13
9	400000	156000	27700	4900	848	128	19/17/14
10	800000	311000	55400	9800	1700	256	20/18/15
11	160000	623000	110000	19600	3390	512	21/19/16
12	3200000	1250000	222000	39200	6780	1024	22/20/17

Tabla 2.5: ESTADO DEL ACEITE EN FUNCIÓN DEL CÓDIGO ISO

Código ISO	15/13/10	16/14/11	17/15/12	18/16/13	19/17/14	20/18/15	21/19/16	22/20/17
Motores	Muy Limpio			Limpio	Normal	Sucio	Muy Sucio	

2.3.5 Intervalo de Drenaje de Aceite

La determinación del intervalo adecuado de drenaje de aceite no es tarea fácil, ya que intervienen una serie de factores que pueden hacer variar este período de tiempo como: la calidad del lubricante, tipo de combustible utilizado, la carga de operación, las condiciones ambientales, el mantenimiento mecánico, los niveles de filtración, etc.

Existen dos formas de tomar una decisión lógica sobre el intervalo de drenaje de aceite: la primera posibilidad se basa en la experiencia y la segunda en el análisis de aceite usado.

La experiencia debe ser adecuada a los modelos de motor, pues cada uno utiliza una fuente relativamente constante. Los fabricantes de motores son los que poseen los conocimientos más completos sobre sus equipos. Este conocimiento proviene del desarrollo y prueba de los motores en el laboratorio y en el campo, basándose en esta experiencia, los fabricantes de motores diesel efectúan recomendaciones sobre los kilómetros u horas de funcionamiento del motor. Con frecuencia estas recomendaciones se basan en el tipo de funcionamiento del motor (normal, riguroso, en la ciudad, en ruta, etc.) así como el nivel de calidad del aceite de motor usado.

Los fabricantes de motores también han publicado “límites de advertencia” o “límites de desgaste” que se basan en los datos analíticos tomados de las muestras de aceite usado. Estos “límites” también se basan en la experiencia del fabricante, por lo tanto, la mejor condición sería la de incrementar las horas de trabajo del lubricante, con un continuo muestreo, a fin de no sobrepasar estos límites de desgaste recomendados por el fabricante y, que las condiciones de contaminación del lubricante, es decir, niveles de saturación de hollín, oxidación, azufre y viscosidad, estén por debajo de un rango aceptable.

2.3.6 Condenación de un Aceite de Motor

Se utiliza el término “condenación” de un aceite, para indicar que el lubricante ha sobrepasado los límites máximos de contaminación y dicho lubricante debe ser removido o cambiado cuanto antes, puesto que sus propiedades físicas, químicas han sido alteradas y no le permiten realizar su labor a cabalidad, notándose en un incremento en el desgaste del motor.

2.4 Especificaciones Técnicas de los Motores Motoren - Werke - Mannheim TBD 440 6K y 8K [9]

2.4.1 Descripción General del Motor y explicación del Tipo

Los motores MWM TBD 440 son motores de velocidad media con inyección directa. Son relativamente pequeños para su potencia, de construcción ligera y especialmente aptos para la propulsión de barcos de navegación costera y por aguas interiores, y como generadores. Se fabrican en versión de 6 y 8 cilindros.

- **T:** turbocompresor.
- **B:** refrigerador de aire sobrealimentado.
- **D:** motor diesel.
- **440:** de la serie.
- **6,8:** números de cilindros.
- **K:** potencia aumentada (reforzada).

2.4.2 Sistema de Lubricación de los Motores MWM TBD 440

Para la lubricación del motor se ha previsto un sistema de lubricación forzada que alimenta los cojinetes del cigüeñal, el accionamiento de las bombas de inyección, el accionamiento del regulador y la lubricación de los balancines.

Una bomba de engranajes para aceite (16) accionada por engranajes, aspira el aceite lubricante a través de un tubo de aspiración (17) desde el cárter de aceite y lo conduce hasta el termostato.

Si la temperatura es inferior a la de servicio, el aceite lubricante es conducido directamente hasta el filtro de aceite. Al alcanzar la temperatura de servicio, el termostato abre el paso hacia el radiador de aceite (11) a través de la carcasa de válvula, para ser conducido hasta el filtro de aceite.

En el filtro de aceite de lubricación, el aceite fluye a través de los paquetes de láminas de tres filtros de ranura, y luego a través de dos cartuchos de microfiltrado. A continuación, a través del canal B y la tubería de distribución va a los distintos apoyos del cigüeñal (12), bielas (1), árbol de levas (4), regulador (8), accionamiento de la bomba de inyección (2), balancines (3), etc.

En el canal A va instalada una válvula de seguridad (9) accionada por muelle, que abre cuando el aceite está demasiado frío o los filtros están sucios, con lo cual se limita la presión del aceite a un valor máximo admisible. Detrás del filtro va instalada además en el canal B de la pieza de distribución una válvula de regulación de aceite (10) accionada por muelle, con la cual se puede regular la presión de aceite antes de los puntos de lubricación del motor. Ambas válvulas tienen fácil acceso.

Una bomba de paletas manual que va instalada en la tubería de presión antes del filtro permite la prelubricación de los cojinetes, antes de poner en marcha el motor. El aceite que salpica del mecanismo de acción, es conducido a través de tubería de retorno hasta el cárter de aceite para ser allí de nuevo aspirado.

El turbocompresor por gases de escape no va unido al sistema de lubricación forzada, sino que tiene una carga de aceite propia.

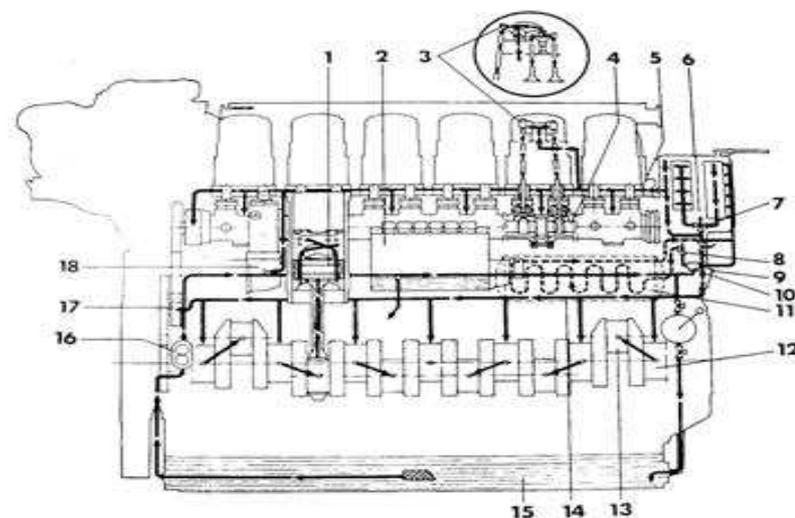


Figura 2.12: Sistema de Lubricación de los Motores MWM 440

2.4.3 Componentes del Sistema de Lubricación

- Bomba de aceite.
- Filtro combinado de aceite.
- Refrigerador de aceite.
- Filtro de aceite.
- Filtro de aceite bloque hacia la bomba de inyección.
- Termostato del aceite lubricante.
- Bomba de aletas manual.
- Cáster de aceite.
- Tapa de la mirilla con varilla de medición y boca de relleno de aceite.
- Válvula de seguridad y de regulación de la presión del aceite.

2.4.3.1 Bomba de Aceite

La bomba de aceite del motor es de engranajes, accionada por el cigüeñal. Aspira el aceite desde el cárter y lo impulsa a través del refrigerador del lubricante y de los filtros de aceite a los distintos cojinetes del motor.

La carcasa está compuesta por una carcasa de fundición gris dentro de la cual giran los engranajes de la bomba, que son de acero. El cuerpo de válvulas, que lleva las válvulas de platillo de aspiración y de presión va unido a la carcasa. El caudal máximo de la bomba es de 29 m³/h y la presión de trabajo de 6 bares.



Figura 2.13: Bomba de Lubricación

2.4.3.2 Filtro Combinado para Aceite del Motor

El filtro para el aceite del motor lleva tres elementos de filtro de ranuras y dos cartuchos de microfiltro. Mediante esta disposición se asegura un filtrado perfecto del aceite en circulación.

El aceite que ha de limpiarse penetra desde fuera hacia adentro a través de las ranuras de los paquetes de lámina, quedando depositadas todas las partículas de cierto tamaño en los bordes de las láminas. Al accionar el rascador de ranuras, limpia las entradas de la suciedad allí depositada.

El aceite que fluye a través de las ranuras hacia el interior, pasa hacia arriba a través de la cámara de filtros de ranura, hacia los cartuchos de microfiltrado, que también son atravesados desde fuera hacia adentro.

Si el cartucho de micro filtrado está muy sucio, se abre una válvula de bypass que va instalada en el cuerpo del filtro, de manera que el aceite pueda pasar directamente a la máquina, sin destruir los cartuchos de micro filtrado, el sistema de microfiltrado es de 11.100 litros/h, el caudal del filtro de ranuras es de 7.500 litros/h y la válvula de seguridad trabaja a los 120 bares.



Figura 2.14: Filtro Combinado de Aceite

2.4.3.3 Refrigerador de Aceite

Es un refrigerador de tubo de aletas onduladas, que trabaja de acuerdo con el principio de contracorriente. El aceite de refrigeración fluye por el interior de los tubos y el aceite por el exterior de los tubos ondulados. Los tubos de aletas ondulados conducen el canal de aceite de forma tal que se consiga un buen efecto de enfriamiento. En la tubería entre el refrigerador de aceite y el motor va un termómetro que indica la temperatura del aceite de lubricación a su entrada en el motor.



Figura 2.15: Refrigerador de Aceite MWM

2.4.3.4 Cárter de Aceite

El cárter de aceite permite fuerte inclinación del motor sin necesidad de una bomba de aspiración de aceite adicional ni de un depósito de aceite independiente. Unos orificios laterales cerrados mediante tapas de impresión permiten el desmontaje de los cojinetes del cigüeñal.

2.4.4 Datos Técnico de los Motores MWM TBD 440

Tabla 2.6: DATOS TÉCNICOS DE LOS MOTORES MWM TBD 440

DATOS TÉCNICOS MOTORES MWM TBD 440		
PARÁMETROS	MOTOR 6 CILINDROS (6K)	MOTOR 8 CILINDROS (8K)
Potencia	1050 HP	1200 HP
RPM máximas	900 RPM	900 RPM
Ralentí:	550 RPM	550 RPM
Capacidad del cárter	60 galones	75 galones
Diámetro	230 mm	230 mm
Carrera	270 mm	270 mm
Cilindrada total:	67,3 litros	89,7 litros
Cantidad de agua refrigerante	165 litros	215 litros
Marca superior varilla medición de aceite	225 litros	285 litros
Marca inferior de la varilla de medición de aceite	162,5 litros	203 litros
Diferencia	62,5 litros	82 litros
Relación de compresión	1:13	1:13
Capacidad de agua de refrigeración	165 litros	215 litros
Presión de encendido	85(120)*bares	85(120)*bares
Presión del aceite lubricante antes del filtro	4 bares	4 bares
Presión del aceite lubricante después del filtro	2,5 bares	2,5 bares
Largo	3340 mm	3950 mm
Ancho	1500 mm	1500 mm
Peso del motor seco	6900 kg	8600kg
Presión de compresión	78 bares	78 bares
Temperatura del aceite lubricante, entrada motor	90 hasta 95 °C	90 hasta 95 °C
Calor evacuado total	350 Kcal/CVh	350 Kcal/CVh
Temperatura del agua refrigerante, salida motor	75 hasta 80 °C	75 hasta 80 °C
Presión de inyección	350 bares	350 bares
Filtro de combustible	2x2 litros	2x2 litros
Clase de lubricación	Forzada	forzada
Juego de válvula	0,4 mm	0,4 mm
Filtro de aceite de lubricación	Filtro de ranuras y microfiltro de papel	
Arranque	Neumático (aire comprimido)	
Procedimiento de trabajo:	Cuatro tiempos, inyección directa, con sobrealimentación.	
Refrigeración	Por circulación de agua o indirecta	
Orden de encendido	A izquierda 1-5-3-6-2-4 Derecha 1-4-2-6-3-5	1-3-7-5-8-6-2-4 1-4-2-6-8-5-7-3

CAPÍTULO III

3. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ACEITE DE LOS MOTORES DE LAS CUATRO ESTACIONES A LAS DISTINTAS HORAS DE OPERACIÓN

3.1 Determinación del Punto de Muestreo en el Motor

La toma de muestra, es el aspecto más crítico del análisis de aceite, porque si no se obtiene una muestra representativa, todos los esfuerzos subsecuentes serán anulados.

Por ello, deben tomarse de tal forma que obtengamos la mayor cantidad posible de información por mililitro de aceite, la cual debe ser uniforme, consistente y representativa.

No todas las ubicaciones de la máquina producen la misma información, algunas contienen más información que otras.

Para obtener una muestra efectiva se la debe tomar con la máquina encendida y a la temperatura normal de funcionamiento, el mejor punto en el cual se debe realizar el proceso de muestreo en busca de elementos contaminantes y elementos de desgaste es antes de los cuerpos filtrantes y en zonas de alta turbulencia, donde el aceite no fluye en línea recta, sino que está girando y rotando en la tubería, si se la realiza en tuberías horizontales será al lado inferior del tubo.

Si se permite que el aceite regrese al tanque la información se diluirá, por lo que no es muy recomendable obtener la muestra del cárter.

En este caso, se determinó que en los motores MWM 440 6K y 8K, el lugar que cumple con la mayoría de las condiciones para obtener una muestra confiable y representativa, es la cañería que comunica la línea principal de lubricación con el manómetro de presión antes del filtro.

Considerando que esta zona está ubicada después del cárter de aceite y antes de los filtros, y se encuentra en zona turbulenta.



Figura 3.1: Determinación del Punto de Muestreo en el Motor

3.2 Método utilizado en la Toma de Muestra

Para la ejecución del muestreo se utilizó el método más recomendado por especialistas en lubricación y análisis de aceite, este método es el del grifo o llave purgadora.

3.2.1 Descripción del Método

El método del grifo o llave purgadora, consiste en la instalación de una llave en una rama horizontal que se intercala o es parte del sistema de lubricación. Esta válvula se regula de una forma tal que, durante toda la operación, fluya una corriente uniforme del lubricante el cual es almacenado en un recipiente limpio y seco, protegiéndolo de la posibilidad de que caiga en su interior polvo y otras sustancias o materias extrañas que alteren los resultados del análisis. Debe cuidarse que la válvula no gotee, sino que el fluido caiga en forma de vena uniforme luego se cierra la válvula para detener el flujo del lubricante.

Al terminar la operación se tapa lo mejor posible el recipiente contenedor de la muestra aislando del ambiente y de cualquier tipo de contaminación protegiendo de la manera más cauta para el posterior análisis del lubricante.



Figura 3.2: Grifo o Llave Purgadora.

3.2.2 Materiales y Equipos utilizados en la instalación de la Llave Purgadora y Toma de la Muestra

Para efectuar la instalación de la llave purgadora se requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Llave purgadora o válvula.
- Unión en forma de T.
- Cortadora de fitting.
- Recipientes plásticos y papel absorbente (en caso de derrame).
- Llaves.

Para efectuar el muestreo se requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Recipiente limpio y seco para la muestra.
- Llaves
- Recipientes plásticos
- Papel absorbente.

3.2.3 Procedimiento a seguir para la Toma de la Muestra

Se efectúa la toma de muestra siguiendo con rigurosidad los pasos que determina el método del grifo o llave purgadora, para realizar con efectividad el muestreo y no comprometer la muestra recolectada a elementos contaminantes, siempre la muestra tiene que ser tomada con el motor en funcionamiento y a la temperatura a la que el motor realiza su normal operación.

3.2.3.1 Pasos a seguir para realizar la Toma de las Muestras en las Estaciones de Bombeo Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y Corazón

Paso 1: Organizar todas las herramientas y materiales a usarse en la toma de la muestra.



Figura 3.2: Materiales Utilizados en la Toma de Muestra de Aceite

Paso 2: Se procede a abrir la válvula o llave purgadora durante un corto tiempo dejando que el aceite salga a un recipiente plástico, y se cierra nuevamente la válvula. Mediante este procedimiento, se limpia la válvula y la cañería de lubricación de sedimentos o fluidos estancados, para que la muestra de aceite no se contamine. Se repite el proceso nuevamente una vez más.



Figura 3.3: Procedimiento de Limpieza de Válvula y Cañería

Paso 3: Se abre la válvula o llave purgadora y se procede a recoger el aceite en un recipiente libre de todo contaminante.



Figura 3.4: Recolección del Aceite Usado a Analizarse

Paso 4: Se cierra la válvula y se procede a taponar el recipiente asegurándose de que la muestra no esté contaminada con ningún agente externo.



Figura 3.5: Muestra de Aceite Sellada

Paso 5: Se coloca la etiqueta al envase en la que debe constar la siguiente información:

- Tipo de aceite a analizar.
- Hora y fecha de la toma de la muestra.
- Horómetro total del motor.
- Horas de uso del aceite.
- Temperatura y presión del aceite.
- Revoluciones a las que está trabajando el motor.

Paso 6: Se realiza una inspección para verificar que no existan fugas en la válvula.



Figura 3.6: Inspección de la Llave Purgadora

3.3 Parámetros de Operación de los Motores

Tabla 3.1: PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES

ESTACIONES:	ESMERALDAS	SANTO DOMINGO	FAISANES	CORAZÓN
Tipo de Motor:	MWM TBD 440 6K	MWM TBD 440 6K	MWM TBD 440 8K	MWM TBD 440 8K
Horas de cambio de aceite	250 horas	250 horas	300 horas	300 horas
Promedio de tiempo de cambio de aceite	8 a 9 meses	3 meses	21 a 25 días	21 a 25 días
Promedio Horómetro total de los motores	70608 horas	88788 horas	94968 horas	94500 horas
Potencia	1050 hp	1050hp	1200 hp	1200 hp
RPM	700 a 720	700 a 720	780 a 790	780 a 790
Temperatura	66 a 78 °C			
Presión	70 a 80 psi			
Capacidad del cárter	60 galones	60 galones	75 galones	75 galones
Promedio total de relleno de aceite	15 a 20 galones			

FUENTE: Departamento de Operaciones de las Estaciones

3.4 Parámetros Ambientales de las Estaciones donde operan los Motores [10]

Tabla 3.2: PARÁMETROS AMBIENTALES DE LAS ESTACIONES

ESTACIONES:	ESMERALDAS	SANTO DOMINGO	FAISANES	CORAZÓN
Altura:	0 m.s.n.m.	998 m.s.n.m	1850 m.s.n.m	2560 m.s.n.m
Temperatura Máxima:	27,4 °C	26,11 °C	20,11 °C	19,88 °C
Temperatura Mínima:	21,11 °C	15 °C	11 °C	9,11 °C
Humedad:	86,44%	85,22%	68,30%	63,55%

CAPÍTULO IV

4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

Para la interpretación de los resultados de los análisis de aceite se ha utilizado los siguientes términos para definir las cantidades encontradas de desgaste, contaminación y degradación:

- No detectado
- Bajo
- Normal
- Moderadamente crítico
- Crítico

4.1 Valores Críticos de Contaminación Admisibles en el Aceite de los Motores MWM 440

Tabla 4.1: VALORES CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN ADMISIBLES EN EL ACEITE

VALORES CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN ADMISIBLES	
HIERRO - Iron (Fe)	95 ppm
CROMO - Chromium (Cr)	20 ppm
NÍQUEL - Nickel (Ni)	10 ppm
ALUMINIO - Aluminum (Al)	18 ppm
PLOMO - Lead (Pb)	40 ppm
COBRE - Copper (Cu)	30 ppm
ESTAÑO - Tin (Sn)	20 ppm
SILICIO - Silicon (Si)	17 ppm
SODIO - Sodium (Na)	75 ppm
LÍMITES CRÍTICOS	
TBN	50 % del original
AGUA (vol. %)	0.30 %
COMBUSTIBLE (vol. %)	6.00 %
VISCOSIDAD (100 °C)	No debe ser > 25 % ni < 15 %
HOLLÍN (soot %)	0.30 %

FUENTE: Manual MWM Diesel

4.2 Valores de las Muestras del Aceite Nuevo Gulf Super Duty Sae 40 Api Cf/Sf y Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2

Tabla 4.2: VALORES DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV NUEVOS

VALORES DE LOS ANÁLISIS DE ACEITE GULF Y PDV NUEVOS		
VARIABLE	VALORES	
Tipo de Aceite	GULF	PDV
Reporte	6032	2785
Fecha	16/04/2010	09/06/2010
Marca	Super Duty, API CF/SF	Super Diesel Plus, API CF/CF-2
Viscosidad SAE	40	40
Horómetro (H)	0	0
Horas aceite (H)	0	0
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO		
Viscosidad cSt (100°C)	13,9	14,1
% HOLLÍN - LEM soot	0	0
% COMBUSTIBLE - Fuel (vol)	0	0
% AGUA - Water (vol)	< 0,1	< 0,1
GRADO SAE	40	40
Glycol Test	Negativo	Negativo
TBN	9,86	10,42
ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE METALES (PPM)		
HIERRO - Iron (Fe)	3	2
CROMO - Chromium (Cr)	< 1	< 1
NÍQUEL - Nickel (Ni)	< 1	1
ALUMINIO - Aluminum (Al)	< 1	< 1
PLOMO - Lead (Pb)	1	< 1
COBRE - Copper (Cu)	< 1	< 1
ESTAÑO - Tin (Sn)	< 1	2
SILICIO - Silicon (Si)	6	7
SODIO - Sodium (Na)	< 1	498
FÓSFORO - Phosphorus (P)	686	832
ZINC - Zinc (Zn)	795	990
CALCIO - Calcium (Ca)	3308	3188
MAGNESIO - Magnesium (Mg)	16	17

FUENTE: Analysts, Inc.

4.3 Valores Obtenidos e Interpretación de las Muestras de Aceite de la Estación Santo Domingo de Gulf Super Duty Sae 40 Api Cf/Sf y Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2

4.3.1 Valores de las Muestras de Aceite Gulf a 246 horas y Pdv a 240 horas de Servicio de la Estación Santo Domingo

Tabla 4.3: VALORES DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO

VALORES DE LOS ANÁLISIS DE ACEITE GULF Y PDV USADOS DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO		
VARIABLE	VALORES	
Tipo de Aceite	GULF	PDV
Motor	MWM TBD 440 6K, P-201	MWM TBD 440 6K, P-203
Reporte	6034	2788
Fecha	06/04/2010	22/06/2010
Marca	Super Duty, API CF/SF	Super Diesel Plus, API CF/CF-2
Viscosidad SAE	40	40
Horómetro (H)	88.788	91.118
Horas aceite (H)	246	240
Tiempo estimado entre cambios	3 meses	3 meses
ANÁLISIS FÍSICO		
Viscosidad Cst (100°C)	15,4	16
% HOLLÍN - LEM soot	0,49	0,18
% COMBUSTIBLE - Fuel (vol)	< 1,0	< 1,0
% AGUA - Water (vol)	< 0,1	< 0,1
GRADO SAE	40	40
Glycol Test	Negativo	Negativo
TBN	9,23	6,61
ANÁLISIS ESPECTROQUÍMICO DE METALES (PPM)		
HIERRO - Iron (Fe)	42	51
CROMO - Chromium (Cr)	1	1
NÍQUEL - Nickel (Ni)	1	1
ALUMINIO - Aluminum (Al)	3	3
PLOMO - Lead (Pb)	2	2
COBRE - Copper (Cu)	3	3
ESTAÑO - Tin (Sn)	< 1	< 1
SILICIO - Silicon (Si)	7	9
SODIO - Sodium (Na)	408	587
FÓSFORO - Phosphorus (P)	792	898
ZINC - Zinc (Zn)	898	1091
CALCIO - Calcium (Ca)	3286	3729
MAGNESIO - Magnesium (Mg)	23	18

FUENTE: Analysts, Inc.

4.3.2 Interpretación de las Muestras de Aceite Gulf Super Duty Sae 40 Api Cf/Sf del Motor P-201 a 246 horas y Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 del Motor P-203 a 240 horas de la Estación Santo Domingo

4.3.2.1 Interpretación de los Metales de Desgaste

4.3.2.1.1 Hierro (Iron) Fe

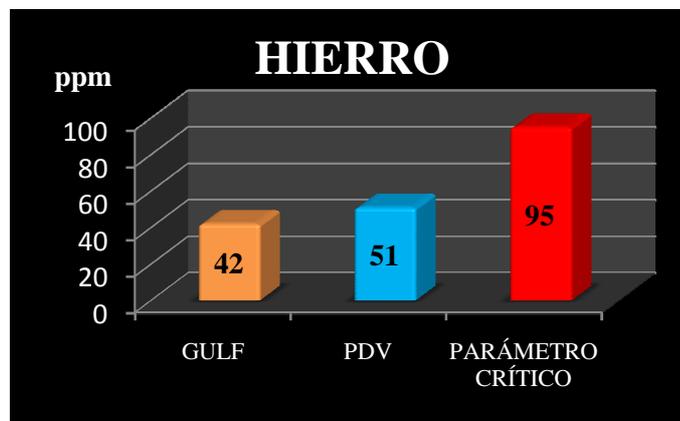


Gráfico 4.1: Hierro en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de hierro en el aceite es de 95 ppm, y la cantidad encontrada en el aceite GULF es 42 ppm y en el aceite PDV es 51 ppm.

Se determina que en los motores P-201 que contiene el aceite GULF y P-203 que contiene aceite PDV existe **desgaste normal** de las piezas de hierro.

4.3.2.1.2 Cromo (Chromium) Cr

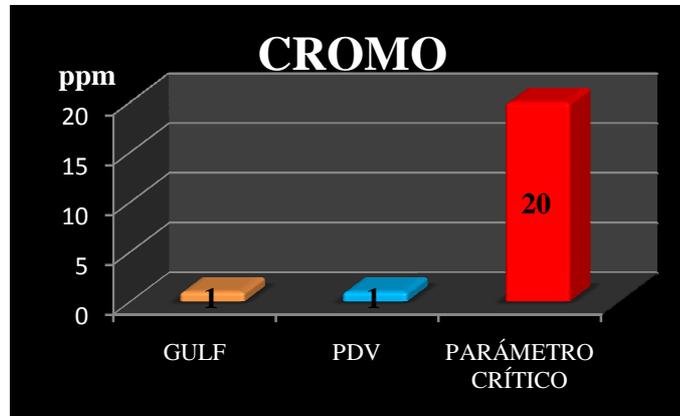


Gráfico 4.2: Cromo en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

El parámetro crítico admisible del cromo es de 20 ppm y la cantidad encontrada en los aceites GULF y PDV es 1 ppm.

Se determina que en los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene aceite PDV, existe **desgaste bajo** de las piezas cromadas.

4.3.2.1.3 Níquel (Nickel) Ni

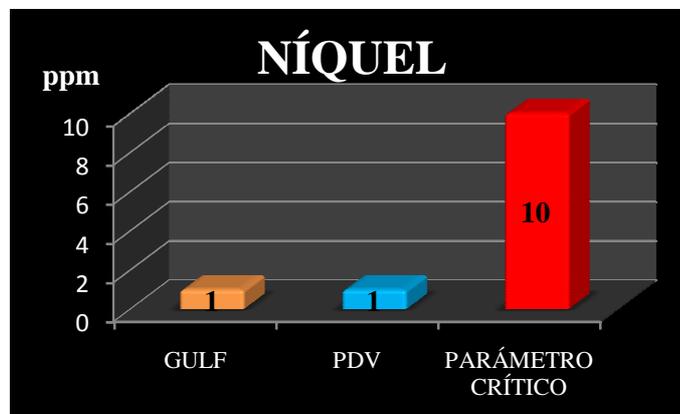


Gráfico 4.3: Níquel en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

La cantidad crítica admisible de níquel en el aceite es de 10 ppm, y la encontrada en los aceites GULF y PDV es 1 ppm.

Se determina que en los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene aceite PDV, existe **desgaste bajo** de las piezas niqueladas.

4.3.2.1.4 Aluminio (Aluminum) Al

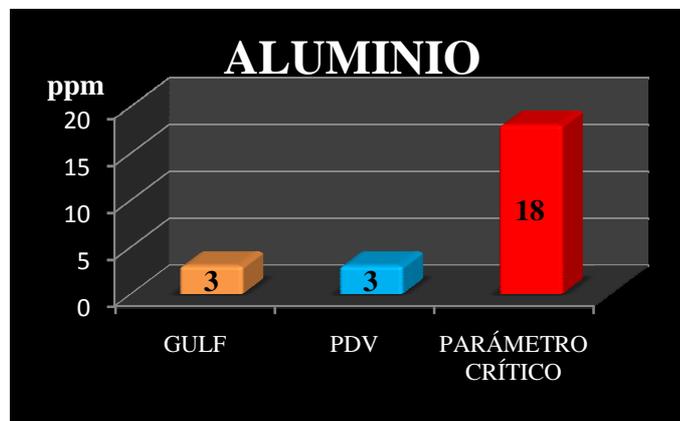


Gráfico 4.4: Aluminio en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de aluminio en el aceite es de 18 ppm, y la cantidad encontrada en los aceites GULF y PDV es 3 ppm.

El desgaste de las piezas de aluminio de los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene PDV es **bajo**.

4.3.2.1.5 Plomo (Lead) Pb

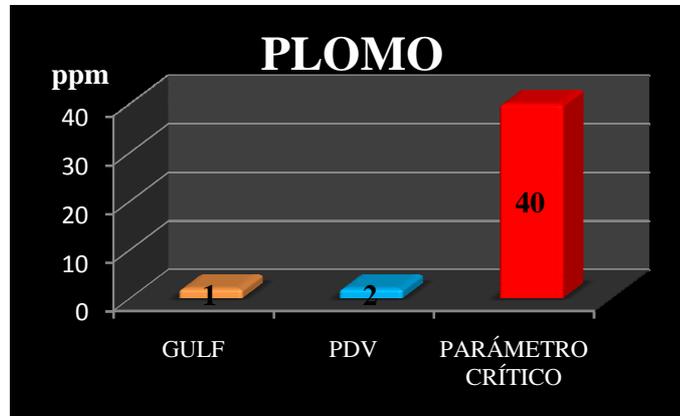


Gráfico 4.5: Plomo en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

El valor crítico de plomo aceptable en el aceite es de 40 ppm, y la cantidad encontrada en los aceites GULF y PDV es 2 ppm.

El desgaste de las piezas que contienen plomo en los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene PDV es **bajo**.

4.3.2.1.6 Cobre (Copper) Cu

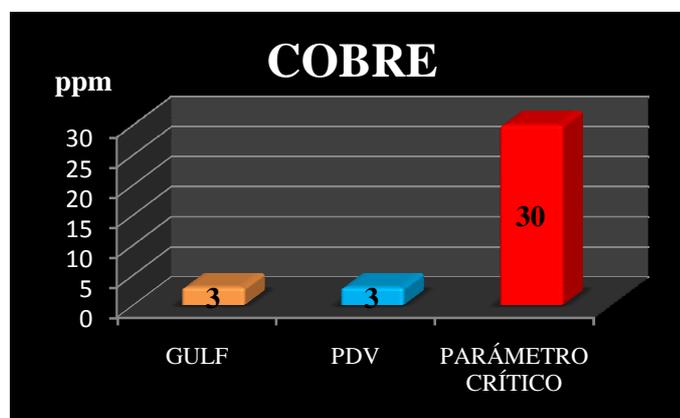


Gráfico 4.6: Cobre en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

La cantidad crítica admisible de cobre en el aceite es de 30 ppm y la encontrada en los aceites GULF y PDV es 3 ppm.

Se determina que en los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene PDV hay desgaste **bajo** de las piezas de cobre.

4.3.2.1.7 Estaño (Tin) Sn

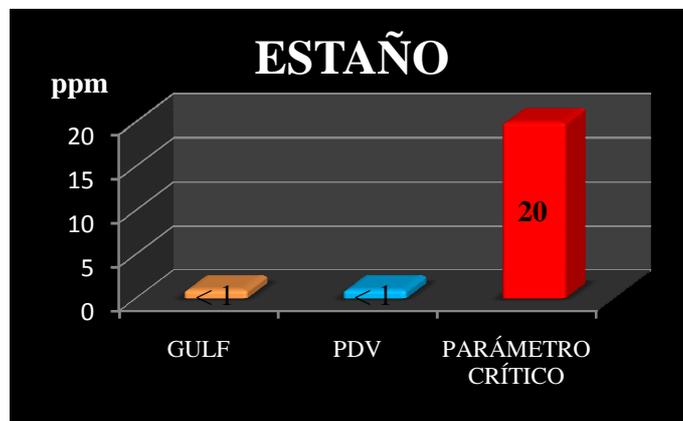


Gráfico 4.7: Estaño en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Metal

El parámetro crítico del estaño aceptable en el aceite es de 40 ppm, y la cantidad encontrada en los aceites GULF y PDV es < 1 ppm.

El desgaste de las piezas que son de estaño en los motores P-201 que contiene aceite GULF y P-203 que contiene PDV es **bajo**.

4.3.2.2 Interpretación de los Elementos Contaminantes

4.3.2.2.1 Silicio (Silicon) Si

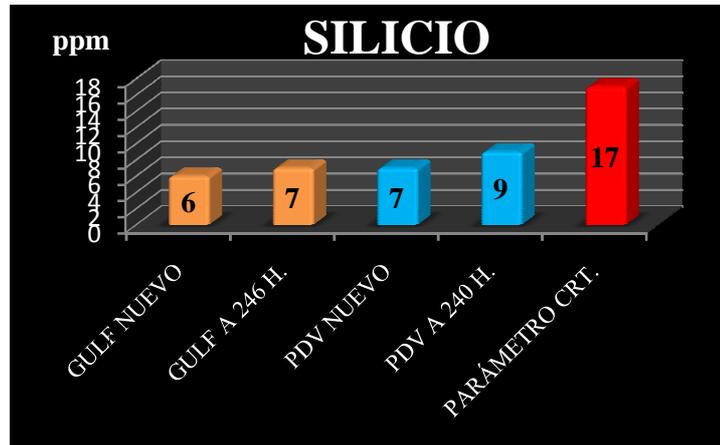


Gráfico 4.8: Silicio en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Contaminante

El valor crítico de silicio admisible es de 17 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF nuevo es 6 ppm y en el usado es 7 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 7 ppm y en el usado es 9 ppm.

La cantidad de silicio encontrada en el aceite GULF nuevo es de 6 ppm y en el PDV nuevo es de 7 ppm, debido a que éste, está actuando como aditivo del aceite, y la encontrada en el aceite usado GULF es de 7 ppm y en el PDV es de 9 ppm, por lo que se determina que la contaminación por polvo es de 1 ppm en el motor P-201 que contiene el aceite GULF y de 2 ppm en el motor P-203 que contiene PDV, por lo que se concluye que en los dos casos la contaminación es **baja**.

4.3.2.2.2 Sodio (Sodium) Na

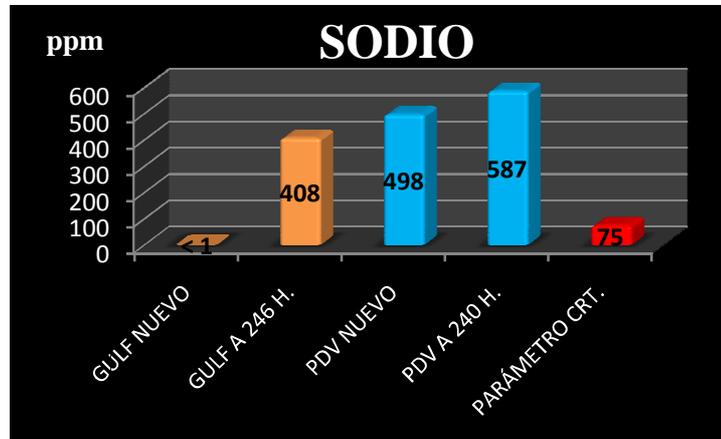


Gráfico 4.9: Sodio en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Contaminante

El parámetro crítico admisible de Sodio en el aceite es 75 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF nuevo es < 1 ppm y en el usado es 408 ppm, y en el PDV nuevo es 498 ppm y en el usado es 587 ppm.

En las muestras de aceite PDV nuevo, PDV a 240 horas y GULF a 246 horas se encontró contaminación **crítica** de silicio, lo que nos alerta que tenemos notable entrada de agua, ésta, por el funcionamiento del motor y calentamiento del aceite se ha evaporado y lo encontrado es el residuo de sus minerales, y en el caso de la muestra de aceite nuevo la entrada del agua al barril es debido a que no se lo estaba almacenando correctamente.

4.3.2.3 Interpretación de los Aditivos

4.3.2.3.1 Zinc (Zinc) Zn

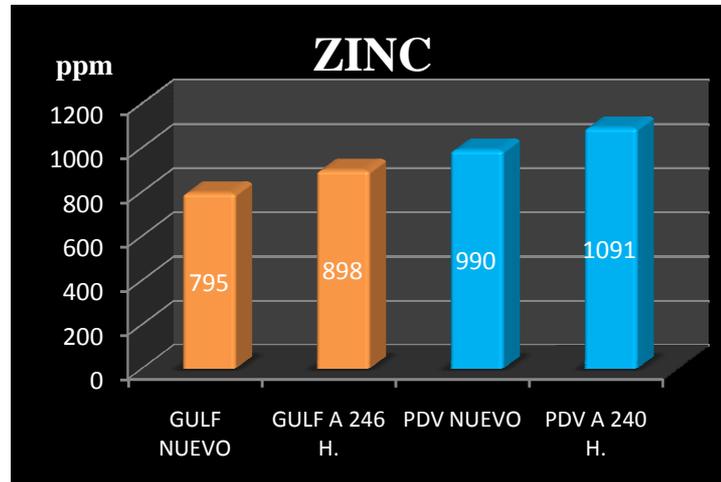


Gráfico 4.10: Zinc en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Aditivo

La cantidad de Zinc encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 795 ppm y en el usado a 246 horas es 898 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 990 ppm y en la de PDV a 240 horas es 1091 ppm.

Se encuentra mayor presencia de zinc en los aceites usados GULF y PDV que en los aceites nuevos por lo que se concluye que en los motores P-201 y P-203 existe desgaste **crítico** de los cojinetes de biela y bancada, y como aditivo su degradación es **no detectada**.

4.3.2.3.2 Fósforo (Phosphorus) P

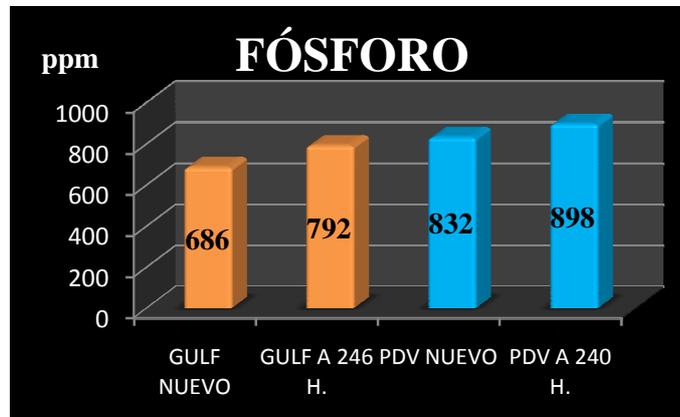


Gráfico 4.11: Fósforo en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Aditivo

La cantidad de fósforo encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 686 ppm y en el usado a 246 horas es 792 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 832 ppm y en el usado a 240 horas es 898 ppm.

Se encuentra mayor presencia de fósforo en los aceites usados GULF y PDV que en los aceites nuevos, por lo que se concluye que en los motores P-201 y P-203 existe desgaste **crítico** de los cilindros y anillos superiores de pistón y como aditivo su degradación es **no detectada**.

4.3.2.3.3 Calcio (Calcium) Ca

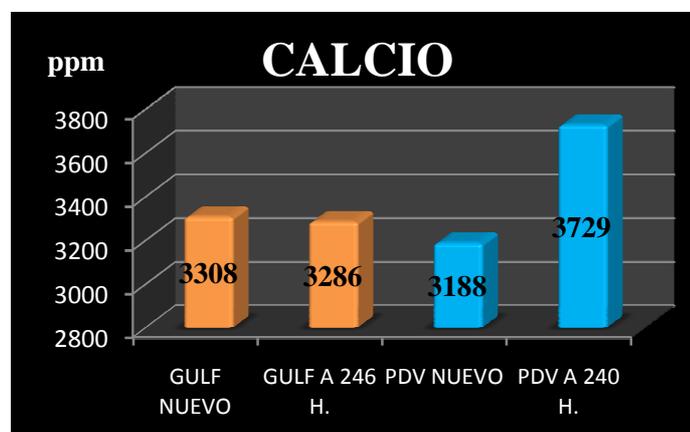


Gráfico 4.12: Calcio en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Aditivo

La cantidad de calcio encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 3308 ppm y en el usado es 3286 ppm, y en el aceite PDV nuevo 3188 ppm y en el usado 3729 ppm.

El calcio como aditivo del aceite GULF del motor P-201 sufre degradación **baja**, y el aceite PDV del motor P-203 sufre contaminación **crítica** por polvo y por los minerales que quedan de la evaporación del agua, y como aditivo su degradación es **no detectada**.

4.3.2.3.4 Magnesio (Magnesium) Mg

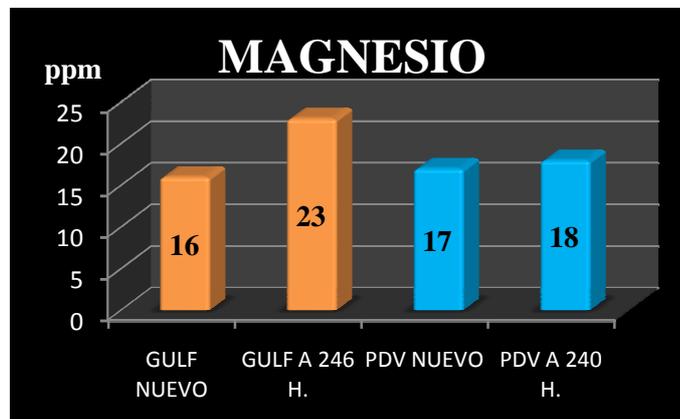


Gráfico 4.13: Magnesio en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Aditivo

La cantidad de magnesio encontrada en las muestras de aceites nuevos GULF es de 16 ppm y PDV de 17 ppm, y la de los aceites usados GULF a 246 horas es de 23 ppm y PDV a 240 horas de 18 ppm.

En el motor P-201 que contiene aceite GULF existe desgaste **normal** de los cojinetes de biela y bancada y en el motor P-203 que contiene aceite PDV el desgaste es **bajo**, en los dos análisis la degradación del magnesio es **no detectada**.

4.3.2.4 Interpretación de los Resultados del Análisis Físico

4.3.2.4.1 Viscosidad

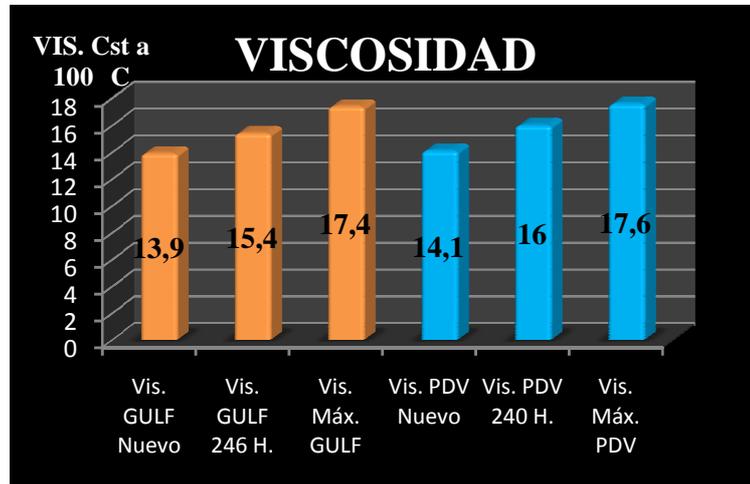


Gráfico 4.14: Viscosidad de Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación de la Viscosidad

Los valores críticos de viscosidad admisibles en el aceite GULF son de 11,8 Cst como mínimo y 17,4 Cst máximo, la cantidad encontrada en el aceite nuevo es 13,9 Cst y a 246 horas es 15,4 Cst. En el aceite PDV los valores críticos permitidos de viscosidad son de 12 como mínimo y 17,6 Cst máximo, la cantidad encontrada en el aceite nuevo es 14,1 Cst y a 240 horas es 16 Cst.

Se determina que existe incremento **normal** de la viscosidad de los aceites GULF y PDV, que es causado por la oxidación de los mismos, debido a la presencia de los metales de desgaste, motor sobrecalentado, hollín, polvo y sedimentos.

4.3.2.4.2 Número Total de Bases (TBN)

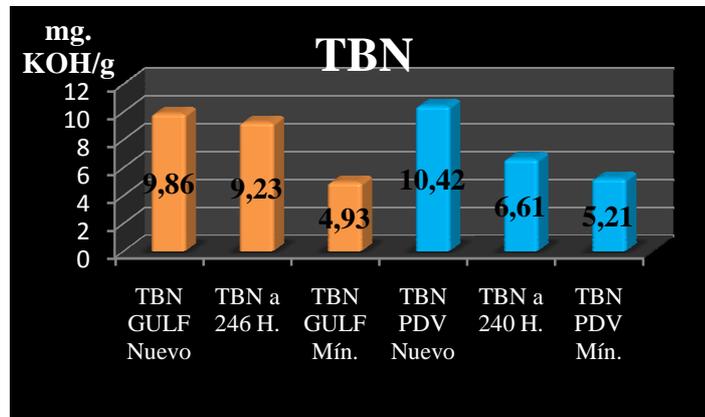


Gráfico 4.15: TBN de Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del TBN

El TBN del aceite GULF nuevo es 9,86 mg.KOH/g, el del usado a 246 horas es 9,23 mg.KOH/g y el TBN mínimo admisible es de 4,93 mg.KOH/g, y el del aceite PDV nuevo es de 10,42 mg.KOH/g, el del usado a 240 horas es de 6,61 mg.KOH/g y el TBN mínimo es 5,21 mg.KOH/g.

El TBN del aceite GULF sufre degradación **baja** y el del PDV degradación **moderadamente crítica**, el descenso es debido al azufre presente en el combustible, degradación de aditivos por contaminación con agua y oxidación del aceite por la presencia de los metales de desgaste, polvo, hollín y sedimentos.

4.3.2.4.3 Contenido de Hollín el Aceite

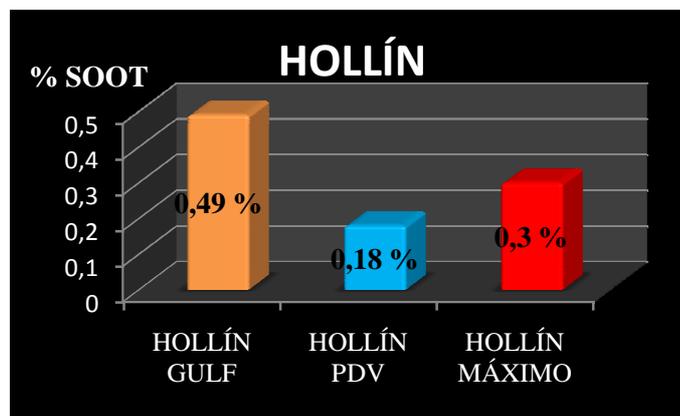


Gráfico 4.16: Hollín en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Hollín

La cantidad de hollín crítica admisible en el aceite es de 0,30 % y la encontrada en el aceite GULF es 0,49 % y en el PDV es 0,18%.

Se determina que el aceite GULF tiene contenido **crítico** de hollín y el del PDV es **normal**, su presencia se debe a relaciones inadecuadas de aire/combustible, inyectores defectuosos, baja compresión, el mismo que oxida el aceite y puede taponar los filtros.

4.3.2.4.4 Contenido de Combustible en el Aceite

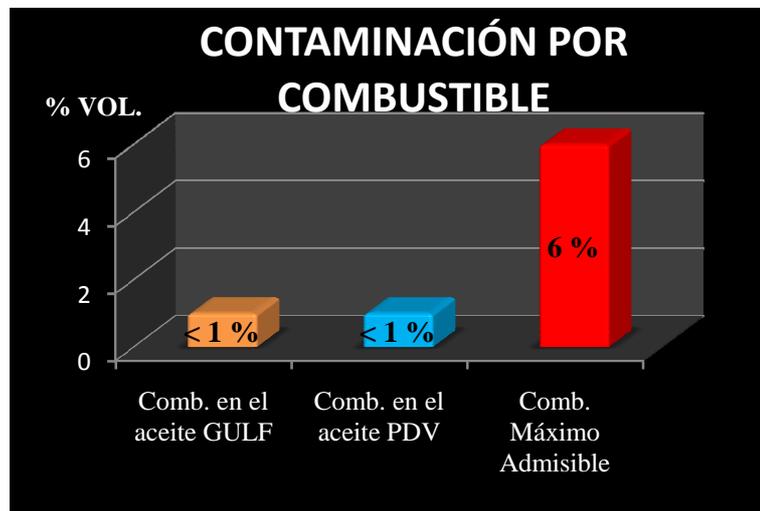


Gráfico 4.17: Combustible en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Contenido de Combustible en el Aceite

La cantidad crítica admisible de combustible en el aceite es de 6 % y la encontrada en los aceites GULF y PDV es < 1,00 %.

La presencia de combustible en las muestras de aceites GULF y PDV es **baja**.

4.3.2.4.5 Contenido de Agua en el Aceite



Gráfico 4.18: Agua en Aceites GULF y PDV de Santo Domingo

Interpretación del Contenido de Agua en el Aceite

El volumen de agua crítica permitida en el aceite es del 0,30 % y el encontrado en los aceites usados GULF y PDV es <math>< 0,10\%</math>.

El volumen de agua encontrado en las muestras de aceite GULF y PDV es **bajo**, pero se debe tener en cuenta que al tomar las muestras el agua pudo haberse evaporado debido a la temperatura del aceite, por tal motivo se la debe analizar en conjunto con el Sodio que es el contenido de sus minerales, el mismo que en los dos casos tuvo un aumento, por lo que se concluye que en las muestras de aceite se tiene entrada **crítica** de agua que hay que corregir o evitar.

4.3.2.5 Interpretación del Conteo de Partículas de los Aceites Gulf y Pdv de la Estación Santo Domingo

Tabla 4.4: CONTEO DE PARTÍCULAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO.

CONTEO DE PARTÍCULAS / 100ml DE LA ESTACIÓN SANTO DOMINGO		
Aceite	GULF	PDV
2-5 micras	384.400	1'719.900
>5-15 micras	142.200	636.100
>15-25 micras	15.200	68.000
>25-50 micras	3.600	16.300
>50-100 micras	300	1.500
>100 micras	0	0
ISO (Código)	20/18/15	22/20/17
Clase	10	12

FUENTE: Analysts, Inc.

Para los aceites de los motores se recomienda el código de limpieza según la norma ISO 4406 de 19/17/14 y según la norma NAS 1638 de clase 9, que equivalen a no más de 400.000 partículas > 2 μ , no más de 156.000 > 5 μ , no más de 27.700 > 15 μ , no más de 4.900 > 25 μ , no más de 848 > 50 μ , no más de 128 > 100 μ .

El aceite GULF de 246 horas de uso del motor P-201 tiene un total de 545.700 partículas > 2 μ , 161.300 > 5 μ , 19.100 > 15 μ , 3.900 > 25 μ , 300 > 50 μ , y no se encontró partículas mayores de 100 μ , éstas cantidades de partículas según la norma ISO equivale a un código 20/18/15 y según la norma NAS 1638 a la clase 10, y el aceite PDV usado de 240 horas del motor P-203 tiene un total de 2'441.800 partículas > 2 μ , 721.900 > 5 μ , 85.800 > 15 μ , 17800 > 25 μ , 1500 > 50 μ , y 0 > 100 μ , y éstos valores de contaminación equivale a un código ISO 22/20/17 y a la clase 12.

En el aceite GULF se tiene exceso de partículas superiores a 2 y 5 μ que están fuera del rango establecido, esto nos indica que en el motor P-201 se está presentando desgaste erosivo de las piezas del motor, este tipo de desgaste no es crítico pero se recomienda tomar como medida una mejor filtración del aceite ya que a mediano o largo plazo pueden causar una falla catastrófica, y las partículas superiores a 15 μ están dentro del rango y según la clasificación del estado del aceite en función del código ISO 20/18/15 tenemos un aceite **sucio**, y en el aceite PDV se encontró exceso de partículas mayores a 2, 5, 15, 25 y 50 μ , que nos indica que en el motor P-203 tenemos desgaste crítico de algunas piezas del motor, y según la clasificación del estado del aceite en función del código ISO el 22/20/17 nos indica que tenemos un aceite **muy sucio**.

4.4 Valores obtenidos e Interpretación de las Muestras de Aceite de la Estación Corazón de Gulf Super Duty Sae 40 Api Cf/Sf Y Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2

4.4.1 Valores de las Muestras de Aceite Gulf a 300 horas y Pdv a 310 horas de servicio de la Estación Corazón

Tabla 4.5: VALORES ENCONTRADOS EN LAS MUESTRAS DE ACEITE GULF Y PDV EN LA ESTACIÓN CORAZÓN

VALORES DE LOS ANÁLISIS DE ACEITE GULF Y PDV USADOS DE LA ESTACIÓN CORAZÓN		
VARIABLE	VALORES	
Tipo de Aceite	GULF	PDV
Motor	MWM TBD 440 8K, P-401	MWM TBD 440 8K, P-403
Reporte	6033	2786
Fecha	05/04/2010	09/06/2010
Marca	Super Duty, API CF/SF	Super Diesel Plus, API CF/CF-2
Viscosidad SAE	40	40
Horómetro (H)	94.500	93.397
Horas aceite (H)	300	310
Tiempo estimado entre cambios	25 días	25 días
ANÁLISIS FÍSICO		
Viscosidad Cst (100°C)	14,1	14,1
% HOLLÍN - LEM soot	0,51	0,46
% COMBUSTIBLE - Fuel (vol)	< 1,0	< 1,0
% AGUA - Water (vol)	< 0,1	< 0,1
GRADO SAE	40	40
Glycol Test	Negativo	Negativo
TBN	8,21	7,75
ANÁLISIS ESPECTROQUÍMICO DE METALES (PPM)		
HIERRO - Iron (Fe)	18	9
CROMO - Chromium (Cr)	< 1	< 1
NÍQUEL - Nickel (Ni)	< 1	< 1
ALUMINIO - Aluminum (Al)	3	2
PLOMO - Lead (Pb)	3	2
COBRE - Copper (Cu)	1	3
ESTAÑO - Tin (Sn)	< 1	1
SILICIO - Silicon (Si)	4	4
SODIO - Sodium (Na)	313	533
FÓSFORO - Phosphorus (P)	669	803
ZINC - Zinc (Zn)	809	985
CALCIO - Calcium (Ca)	2990	3329
MAGNESIO - Magnesium (Mg)	28	16

FUENTE: Analysts, Inc.

4.4.2 Interpretación de las Muestras de Aceite Gulf Super Duty Sae 40 Api Cf/Sf a 300 horas y Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 A 310 horas de la Estación Corazón

4.4.2.1 Interpretación de los Metales de Desgaste

4.4.2.1.1 Hierro (Iron) Fe

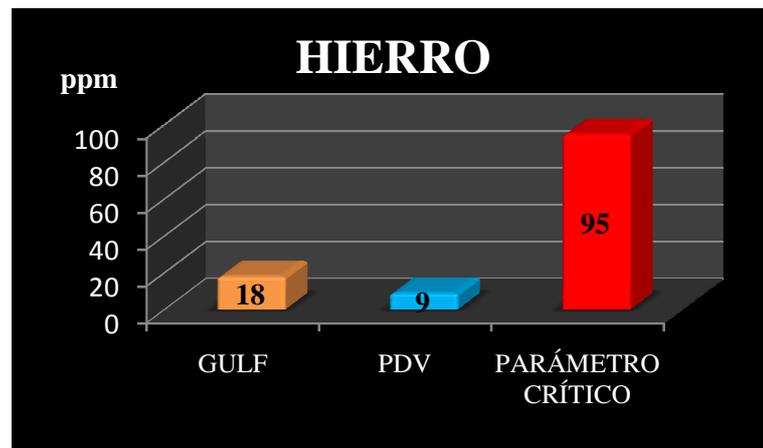


Gráfico 4.19: Hierro en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de hierro en el aceite es de 95 ppm, y la cantidad encontrada en el aceite GULF es 18 ppm y en el aceite PDV es 9 ppm.

Se determina que en los motores P-401 que contiene el aceite GULF y P-403 que contiene aceite PDV existe **desgaste bajo** de las piezas de hierro.

4.4.2.1.2 Cromo (Chromium) Cr

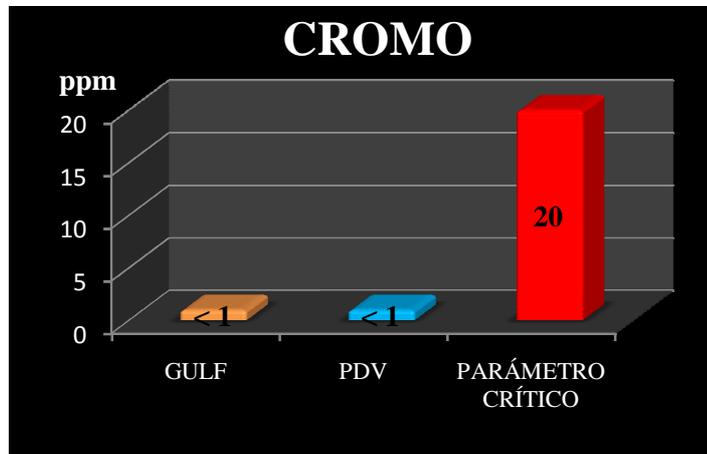


Gráfico 4.20: Cromo en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

El parámetro crítico admisible del cromo es de 20 ppm y la cantidad encontrada en los aceites GULF y PDV es < 1 ppm.

Se determina que en los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene aceite PDV el desgaste es **bajo**.

4.4.2.1.3 Níquel (Nickel) Ni

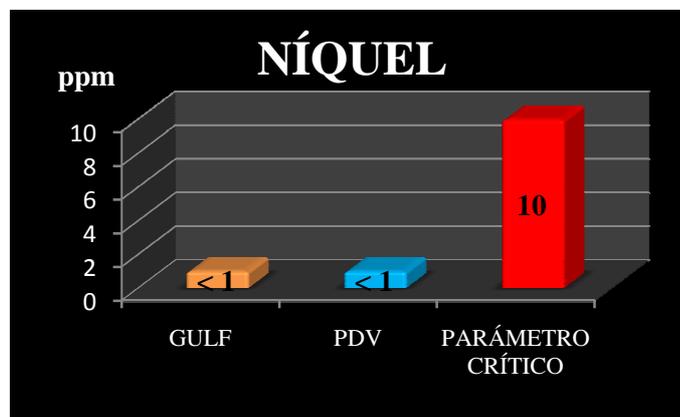


Gráfico 4.21: Níquel en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

La cantidad crítica admisible de níquel en el aceite es de 10 ppm, y la encontrada en los aceites GULF y PDV es < 1 ppm.

Se determina que en los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene aceite PDV el desgaste es **bajo**.

4.4.2.1.4 Aluminio (Aluminum) Al

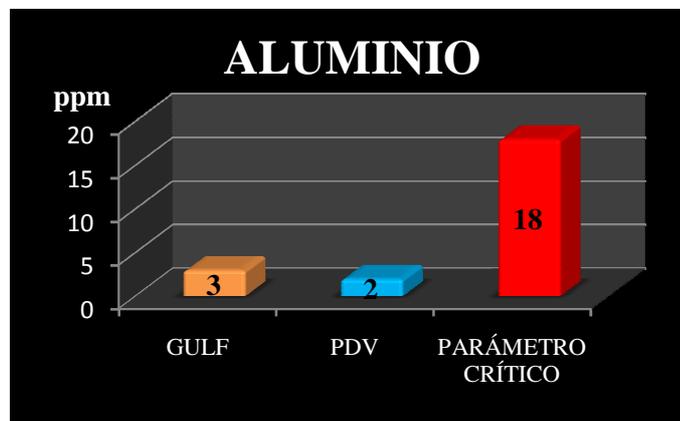


Gráfico 4.22: Aluminio en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de aluminio en el aceite es de 18 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF es 3 ppm y en el PDV es 2 ppm.

El desgaste de las piezas de aluminio de los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene PDV es **bajo**.

4.4.2.1.5 Plomo (Lead) Pb

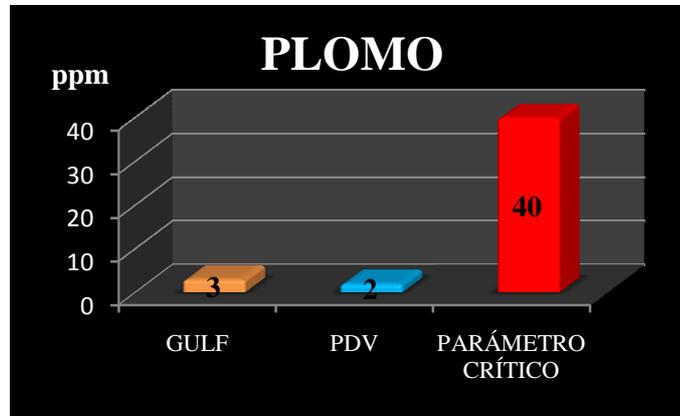


Gráfico 4.23: Plomo en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico de plomo aceptable en el aceite es de 40 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF es 3 ppm y en el PDV es de 2 ppm.

El desgaste de las piezas que contienen plomo en los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene PDV es **bajo**.

4.4.2.1.6 Cobre (Copper) Cu

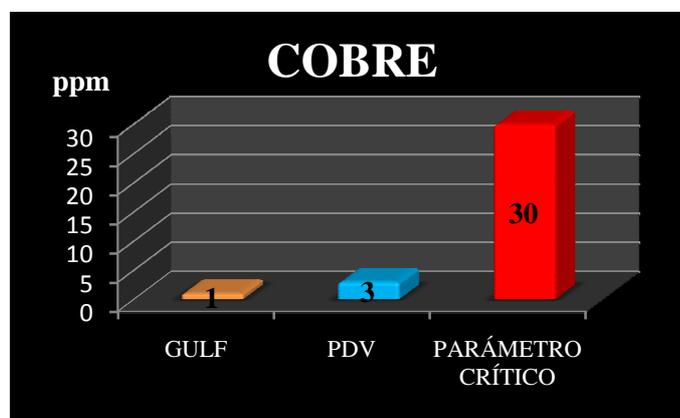


Gráfico 4.24: Cobre en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

La cantidad crítica admisible de cobre en el aceite es de 30 ppm, la encontrada en el aceite GULF es 1 ppm y en el PDV es 3 ppm.

Se determina que en los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene PDV hay desgaste **bajo** de las piezas de cobre.

4.4.2.1.7 Estaño (Tin) Sn

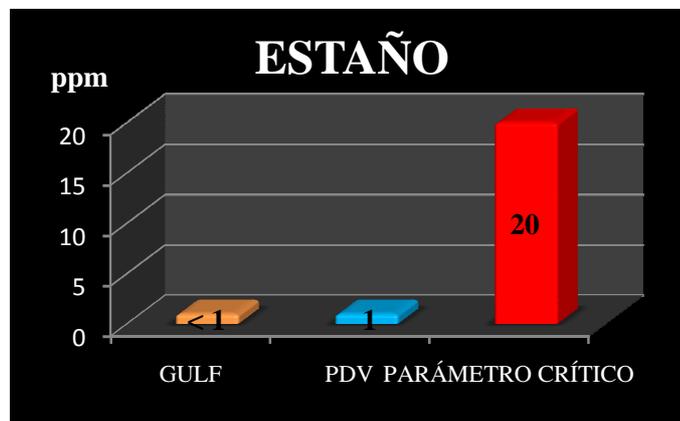


Gráfico 4.25: Estaño en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Metal

El parámetro crítico del estaño aceptable en el aceite es de 40 ppm, y la cantidad encontrada en el aceite GULF es < 1 ppm y en el PDV es 1 ppm.

El desgaste de las piezas que son de estaño en los motores P-401 que contiene aceite GULF y P-403 que contiene PDV es **bajo**.

4.4.2.2 Interpretación de los Elementos Contaminantes

4.4.2.2.1 Silicio (Silicon) Si

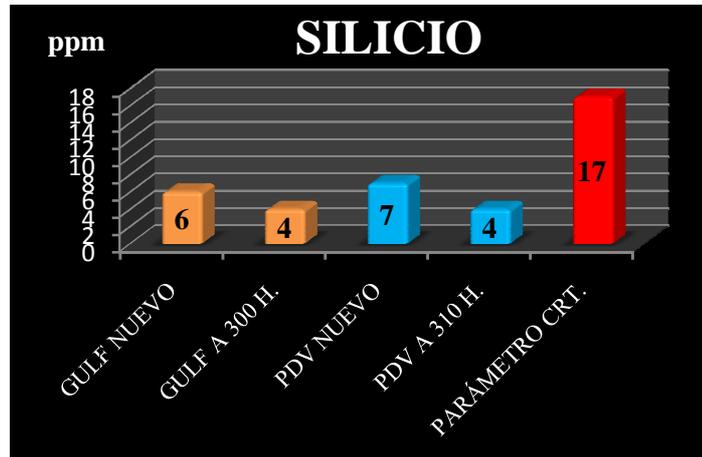


Gráfico 4.26: Silicio en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Contaminante

El valor crítico de silicio admisible es de 17 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF nuevo es 6 ppm y en el usado es 4 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 7 ppm y en el usado es 4 ppm.

La cantidad de silicio encontrada en el aceite GULF nuevo es 6 ppm y en el PDV nuevo es 7 ppm, debido a que éste, está actuando como aditivo del aceite, y la encontrada en el aceite usado GULF y PDV es 4 ppm, por lo que se determina que en los dos aceites existe degradación **baja** de silicio, y como contaminante es **no detectado**.

4.4.2.2.2 Sodio (Sodium) Na

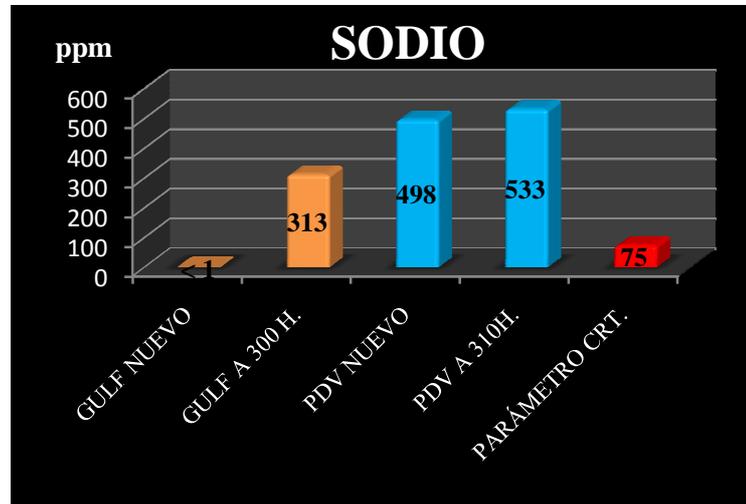


Gráfico 4.27: Sodio en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Contaminante

El parámetro crítico admisible de sodio en el aceite es 75 ppm, la cantidad encontrada en el aceite GULF nuevo es < 1 ppm y en el usado es 313 ppm, y en el PDV nuevo es 498 ppm y en el usado es 533 ppm.

En las muestras de aceite PDV nuevo, PDV a 310 horas y GULF a 300 horas se encontró contaminación **crítica** de silicio, lo que nos alerta que tenemos notable entrada de agua, ésta, por el funcionamiento del motor y calentamiento del aceite se ha evaporado y lo encontrado es el residuo de sus minerales, y en el caso de la muestra de aceite nuevo la entrada del agua al barril es debido a que no se lo estaba almacenando correctamente.

4.4.2.3 Interpretación de los Aditivos

4.4.2.3.1 Zinc (Zinc) Zn

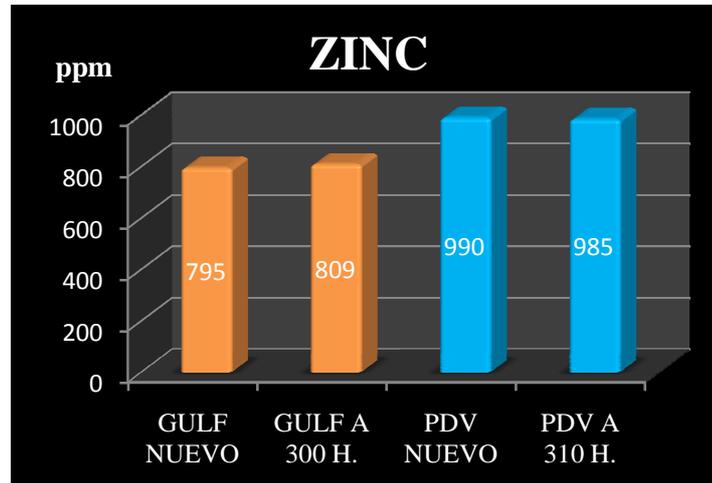


Gráfico 4.28: Zinc en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de Zinc encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 795 ppm y en el usado a 300 horas es 809 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 990 ppm y en la de PDV a 310 horas es 985 ppm.

En el aceite GULF del motor P-401 existe desgaste **bajo** de los cojinetes de biela y bancada, y su degradación es **no detectada**, y en el PDV del motor P-403 se encontró que existe degradación **baja** de zinc.

4.4.2.1.2 Fósforo (Phosphorus) P

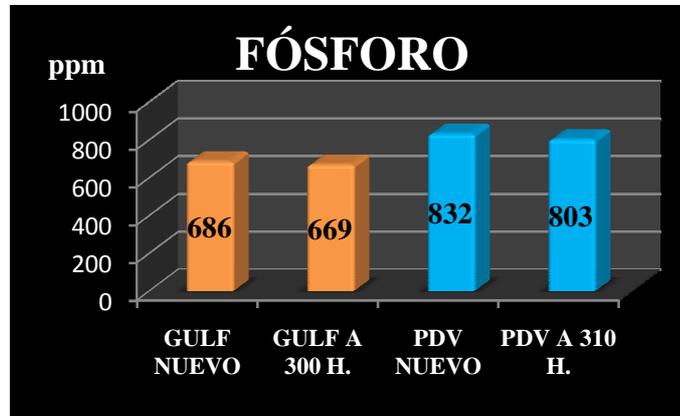


Gráfico 4.29: Fósforo en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de fósforo encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 686 ppm y en el usado a 300 horas es 669 ppm, y en aceite PDV nuevo es 832 ppm y en el usado a 310 horas es 803 ppm.

Se determina que en los aceites, GULF del motor P-401 y PDV del motor P-403 existe degradación **baja** de fósforo.

4.4.2.1.3 Calcio (Calcium) Ca

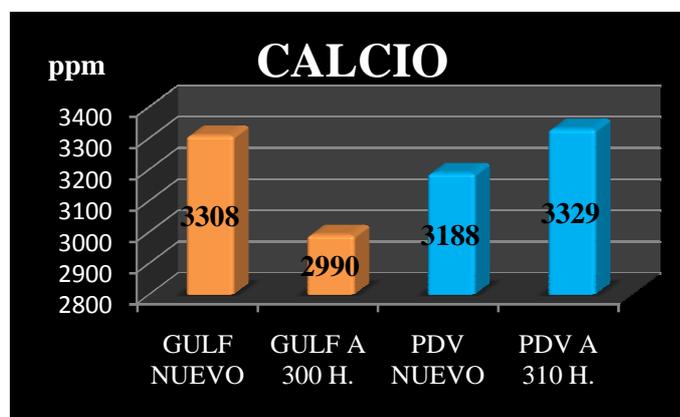


Gráfico 4.30: Calcio en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de calcio encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 3308 ppm y en el usado es 2990 ppm, y en el aceite PDV nuevo 3188 ppm y en el usado 3329 ppm.

El aceite GULF del motor P-401 sufre degradación **normal**, y el aceite PDV del motor P-403 sufre contaminación **crítica** por polvo y por los minerales que quedan por la evaporación del agua, y como aditivo su degradación es **no detectada**.

4.4.2.1.4 Magnesio (Magnesium) Mg

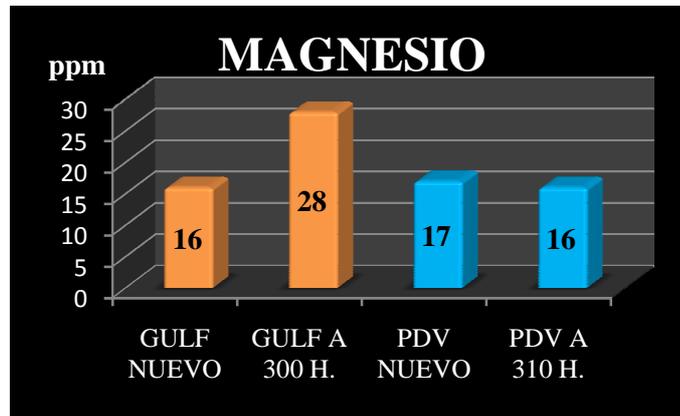


Gráfico 4.31: Magnesio en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de magnesio encontrada en la muestra de aceite nuevo GULF es 16 ppm y en el usado es 28 ppm, y en el aceite PDV nuevo es 17 ppm y en el usado es 16 ppm.

En el motor P-401 que contiene aceite GULF existe desgaste **moderadamente crítico** de los cojinetes de biela y bancada y en el motor P-403 que contiene aceite PDV existe degradación **baja** de magnesio.

4.4.2.4 Interpretación de los resultados del Análisis Físico

4.4.2.4.1 Viscosidad

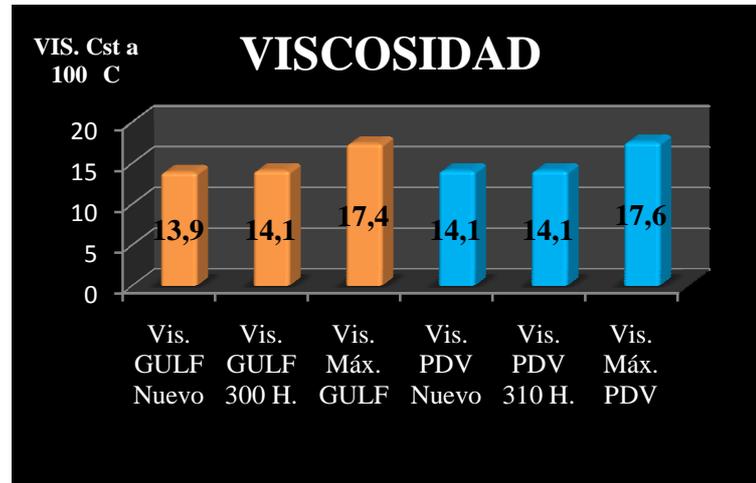


Gráfico 4.32: Viscosidad de Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación de la Viscosidad

Los valores críticos de viscosidad admisibles en el aceite GULF son de 11,8 Cts como mínimo y 17,4 Cts máximo, la cantidad encontrada en el aceite nuevo es 13,9 Cst y a 300 horas es 14,1 Cts. En el aceite PDV los valores críticos permitidos de viscosidad son de 12 como mínimo y 17,6 Cst máximo, la cantidad encontrada en el aceite nuevo es 14,1 Cst y a 310 horas es 14,1 Cst.

El incremento de la viscosidad en el aceite GULF **es bajo** y en el PDV es **no detectado**, el mismo que es causado por la oxidación de los aceites, debido a la presencia de los metales de desgaste, motor sobrecalentado, hollín, polvo y sedimentos.

4.4.2.4.2 Número Total De Bases (TBN)

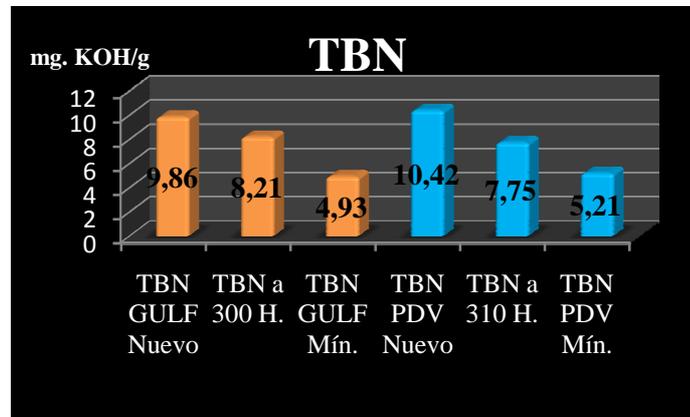


Gráfico 4.33: TBN de Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del TBN

El TBN del aceite GULF nuevo es 9,86 mg.KOH/g, el del usado a 300 horas es 8,21 mg.KOH/g y el TBN mínimo admisible es de 4,93 mg.KOH/g, y el del aceite PDV nuevo es de 10,42 mg.KOH/g, el del usado a 310 horas es de 7,75 mg.KOH/g y el TBN mínimo es 5,21 mg.KOH/g.

El TBN del aceite GULF sufre degradación **baja** y el del PDV degradación **normal**, el descenso es debido al azufre presente en el combustible, degradación de aditivos por contaminación con agua y oxidación del aceite por la presencia de los metales de desgaste, polvo, hollín y sedimentos.

4.4.2.4.3 Contenido de Hollín en el Aceite

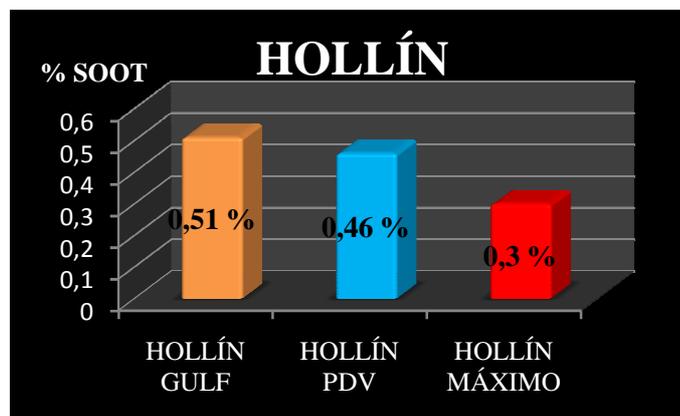


Gráfico 4.34: Hollín en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Hollín

La cantidad de hollín crítica admisible en el aceite es de 0,30 % y la encontrada en el aceite GULF es 0,51 % y en el PDV es 0,46 %.

Se determina que los aceites, GULF y PDV tienen contenido **crítico** de hollín, su presencia se debe a relaciones inadecuadas de aire/combustible, inyectores defectuosos, baja compresión, los cuales oxidan el aceite y taponan los filtros.

4.4.2.4.4 Contenido de Combustible en el Aceite

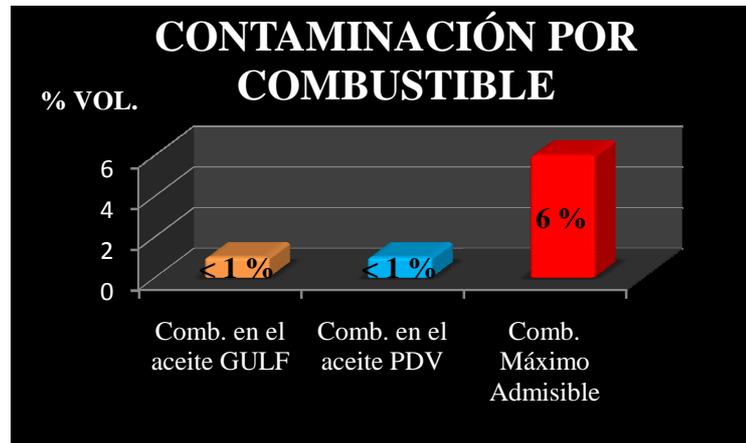


Gráfico 4.35: Combustible en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Contenido de Combustible en el Aceite

La cantidad crítica admisible de combustible en el aceite es de 6 % y la encontrada en los aceites GULF y PDV es < 1,00 %.

La presencia de combustible en las muestras de aceites GULF y PDV es **baja**.

4.4.2.4.5 Contenido de Agua en el Aceite

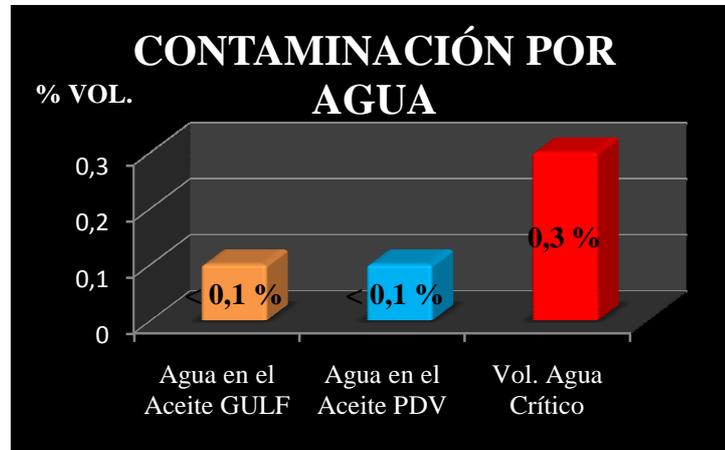


Gráfico 4.36: Agua en Aceites GULF y PDV de Corazón

Interpretación del Contenido de Agua en el Aceite

El volumen de agua crítica permitida en el aceite es del 0.30 % y el encontrado en los aceites usados GULF y PDV es < 0.10 %.

El volumen de agua encontrado en las muestras de aceite GULF y PDV es **bajo**, pero se debe tener en cuenta que al tomar las muestras el agua pudo haberse evaporado debido a la temperatura del aceite, por tal motivo se la debe analizar en conjunto con el Sodio que es el contenido de sus minerales, el mismo que en los dos casos tuvo un aumento, por lo que se concluye que en las muestras de aceite se tiene entrada **crítica** de agua que hay que corregir o evitar.

4.4.2.5 Interpretación del Conteo de Partículas de los Aceites Gulf y Pdv de la Estación Corazón

Tabla 4.6: CONTEO DE PARTÍCULAS DE LOS ACEITES GULF Y PDV DE LA ESTACIÓN CORAZÓN.

CONTEO DE PARTÍCULAS / 100ml DE LA ESTACIÓN CORAZÓN		
Aceite	GULF	PDV
2-5 micras	113.800	103.700
>5-15 micras	42.000	38.300
>15-25 micras	4.500	4.100
>25-50 micras	1.000	900
>50-100 micras	100	0
>100 micras	0	0
ISO (Código)	18/16/13	18/16/13
Clase	8	8

FUENTE: Analysts, Inc.

Para los aceites de los motores se recomienda el código de limpieza según la norma ISO 4406 de 19/17/14 y según la norma NAS 1638 de clase 9, que equivalen a no más de 400.000 partículas > 2 μ , no más de 156.000 > 5 μ , no más de 27.700 > 15 μ , no más de 4.900 > 25 μ , no más de 848 > 50 μ , no más de 128 > 100 μ .

El aceite GULF de 300 horas de uso del motor P-401 tiene un total de 161.400 partículas > 2 μ , 47.600 > 5 μ , 5.600 > 15 μ , 1.100 > 25 μ , 100 > 50 μ , y no se encontró partículas mayores de 100 μ , éstas cantidades de partículas según la norma ISO equivale a un código 18/16/13 y según la norma NAS 1638 a la clase 8, y el aceite PDV usado de 310 horas del motor P-403 tiene un total de 147.000 partículas > 2 μ , 43.300 > 5 μ , 5.000 > 15 μ , 900 > 25 μ , y no se encontraron partículas superiores a 50 y 100 μ , y éstos valores de contaminación equivale a un código ISO 18/16/13 y a la clase 8.

En los aceites GULF y PDV se encontró que las cantidades de las partículas están dentro del rango de contaminación y limpieza establecido para los motores, en ambos casos tenemos el código ISO 18/16/13 que según la clasificación del estado del aceite en función del código ISO, tenemos un aceite **limpio**.

4.5 Valores Obtenidos e Interpretación de las Muestras de Aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón a las distintas horas de servicio

4.5.1 Valores de los Análisis de Aceite Pdv de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Tabla 4.7: VALORES DE LAS MUESTRAS DEL ACEITE PDV DE LAS ESTACIONES SANTO DOMINGO, ESMERALDAS, FAISANES Y CORAZÓN

VALORES DE LOS ANÁLISIS DE ACEITE PDV SUPER DIESEL PLUS SAE 40 API CF/CF-2 USADOS DE LAS ESTACIONES SANTO DOMINGO, ESMERALDAS, FAISANES Y CORAZÓN.				
VARIABLE	VALORES			
ESTACIÓN	STO. DGO.	ESMERALDAS	FAISANES	CORAZÓN
Tipo de Aceite	PDV	PDV	PDV	PDV
Tipo de Motor MWM TBD 440	6K, P-203	6K, P-103	8K, P-303	8K, P-403
Reporte	2788	2789	2787	2786
Fecha	22/06/2010	28/07/2010	09/06/2010	09/06/2010
Viscosidad SAE	40	40	40	40
Horómetro (H)	91.118	70.654	94.657	93.397
Horas aceite (H)	240	246	311	310
Tiempo estimado entre cambio	3 meses	8-9 meses	25 días	25 días
ANÁLISIS FÍSICO				
Viscosidad Cst (100°C)	16	17,1	14,9	14,1
% HOLLÍN – LEM soot	0,18	0,67	0,84	0,46
% COMBUSTIBLE - Fuel (vol)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
% AGUA - Water (vol)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Glycol Test	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
TBN	6,61	4,38	7,64	7,75
ANÁLISIS ESPECTROQUÍMICO DE METALES (PPM)				
HIERRO - Iron (Fe)	51	72	13	9
CROMO - Chromium (Cr)	1	1	< 1	< 1
NÍQUEL - Nickel (Ni)	1	1	1	< 1
ALUMINIO - Aluminum (Al)	3	8	2	2
PLOMO - Lead (Pb)	2	4	1	2
COBRE - Copper (Cu)	3	3	2	3
ESTAÑO - Tin (Sn)	< 1	2	2	1
SILICIO - Silicon (Si)	9	14	5	4
SODIO - Sodium (Na)	587	610	616	533
FÓSFORO - Phosphorus (P)	898	991	923	803
ZINC - Zinc (Zn)	1091	1114	1106	985
CALCIO - Calcium (Ca)	3729	3812	3743	3329
MAGNESIO - Magnesium (Mg)	18	22	16	16

FUENTE: Analysts, Inc.

4.5.2 Interpretación de las Muestras de Aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

4.5.2.1 Interpretación de los Metales de Desgaste

4.5.2.1.1 Hierro (Iron) Fe

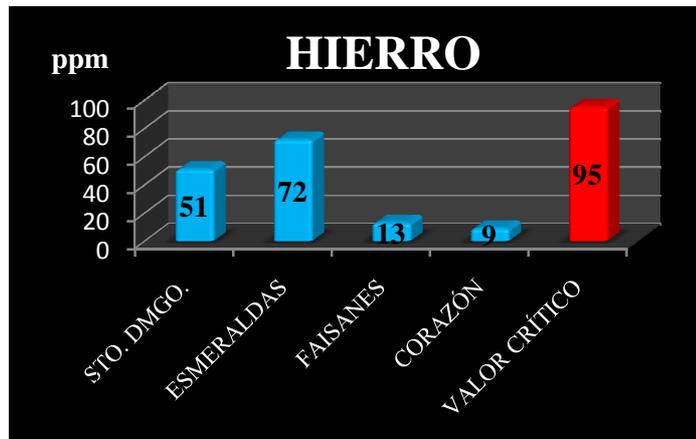


Gráfico 4.37: Hierro en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de hierro en el aceite es 95 ppm, y la cantidad encontrada en el aceite PDV de las Estaciones, Santo Domingo es 51 ppm, Esmeraldas 72 ppm, Faisanes 13 ppm y Corazón 9 ppm.

En el motor de la Estación Santo Domingo se encontró que existe desgaste **normal**, en el de Esmeraldas desgaste **moderadamente crítico**, y en los de Faisanes y Corazón el desgaste es **bajo** de las piezas de hierro.

4.5.2.1.2 Cromo (Chromium) Cr

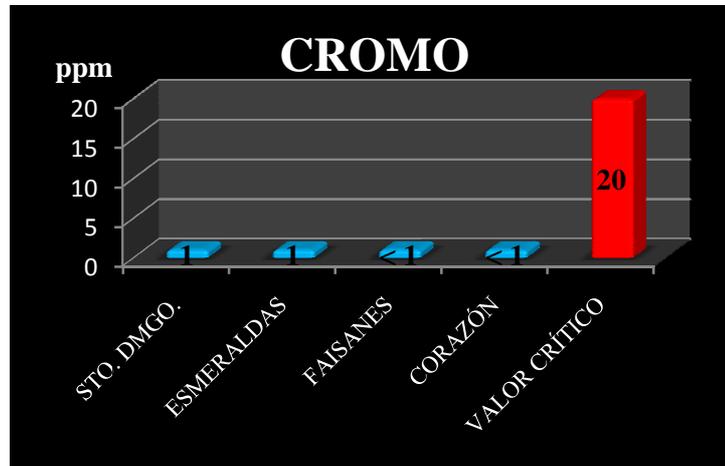


Gráfico 4.38: Cromo en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de cromo en el aceite es 20 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV de las Estaciones, Santo Domingo y Esmeraldas es 1ppm, y en Faisanes y Corazón es < 1 ppm.

Se determina que en el motor analizado de la Estación Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón el desgaste de las piezas cromadas es **bajo**.

4.5.2.1.3 Níquel (Nickel) Ni

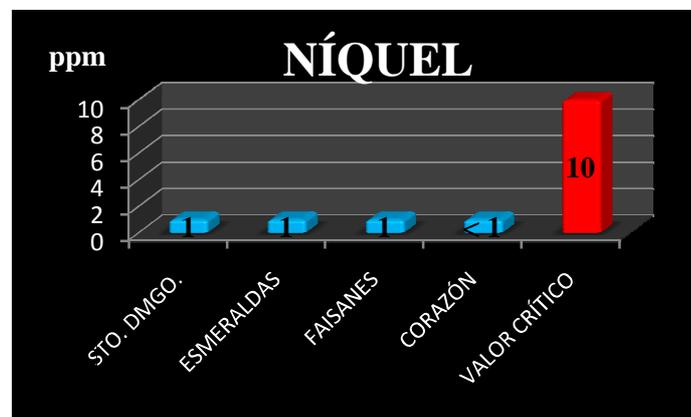


Gráfico 4.39: Níquel en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de níquel en el aceite es 10 ppm y la cantidad encontrada en el aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas y Faisanes es 1 ppm y en la Corazón es < 1 ppm.

En el motor analizado de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón existe desgaste **bajo** de las piezas niqueladas.

4.5.2.1.4 Aluminio (Aluminum) Al

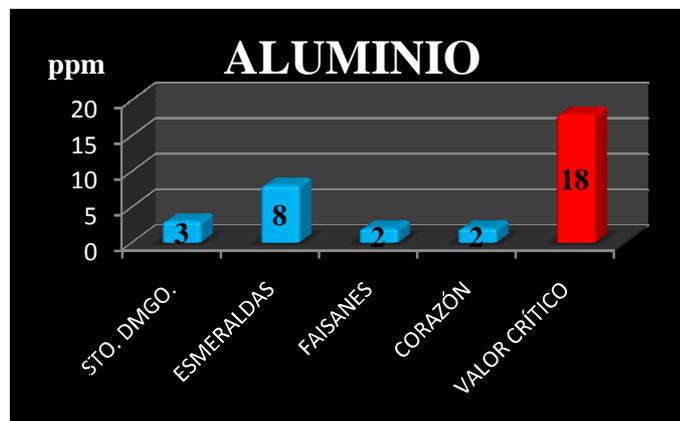


Gráfico 4.40: Aluminio en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de aluminio en el aceite es de 18 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV en la Estación Santo Domingo es 3 ppm, en la Esmeraldas es 8 ppm y en la Faisanes y Corazón es 2 ppm.

En el motor muestreado de las Estaciones Santo Domingo, Faisanes y Corazón el desgaste de las piezas de aluminio es **bajo** y en la Estación Esmeraldas es **normal**.

4.5.2.1.5 Plomo (Lead) Pb

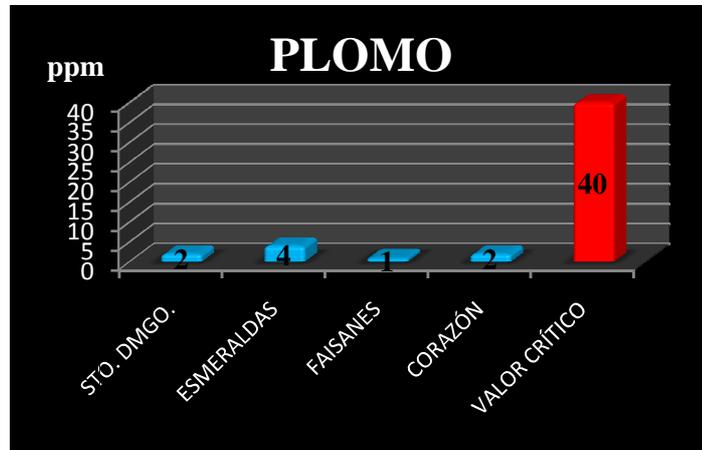


Gráfico 4.41: Plomo en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico de plomo aceptable en el aceite es de 40 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo y Corazón es 2 ppm, en la Estación Esmeraldas es 4 ppm y en la Faisanes es 1 ppm.

El desgaste de las piezas que contienen plomo en el motor analizado de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es **bajo**.

4.5.2.1.6 Cobre (Copper) Cu

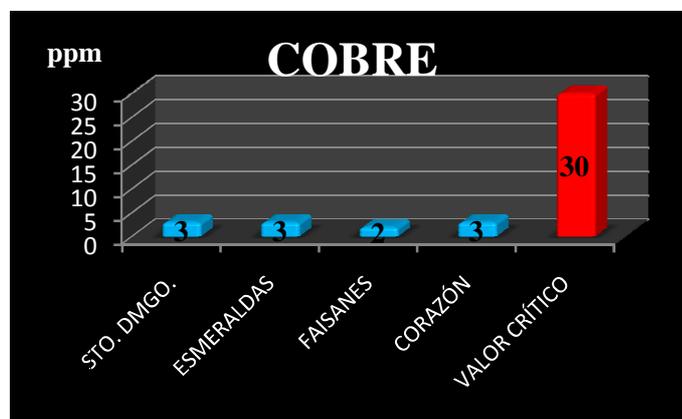


Gráfico 4.42: Cobre en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El valor crítico admisible de cobre en el aceite es 30 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas y Corazón es 3ppm y en la Estación Faisanes es 2 ppm.

Se determina que en el motor analizado de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón el desgaste es **bajo** de las piezas de cobre.

4.5.2.1.7 Estaño (Tin) Sn

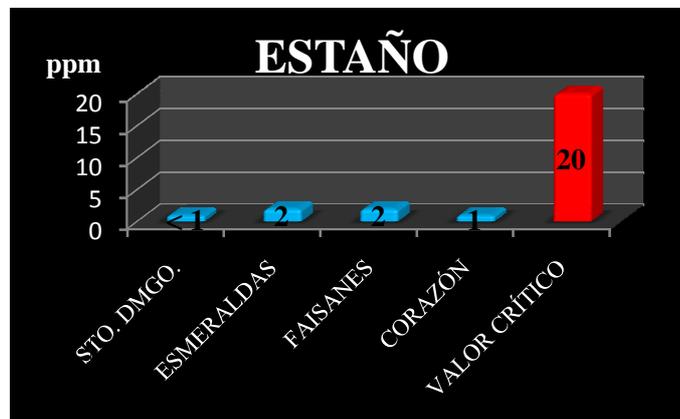


Gráfico 4.43: Estaño en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Metal

El parámetro crítico del estaño aceptable en el aceite es de 40 ppm, y la cantidad encontrada en el aceite PDV de la Estación Santo Domingo es < 1 ppm, en las Estaciones Esmeraldas y Faisanes es 2 ppm y en Corazón 1 ppm.

El desgaste de las piezas que contienen estaño en los motores muestreados de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es **bajo**.

4.5.2.2 Interpretación de los Elementos Contaminantes

4.5.2.2.1 Silicio (Silicon) Si

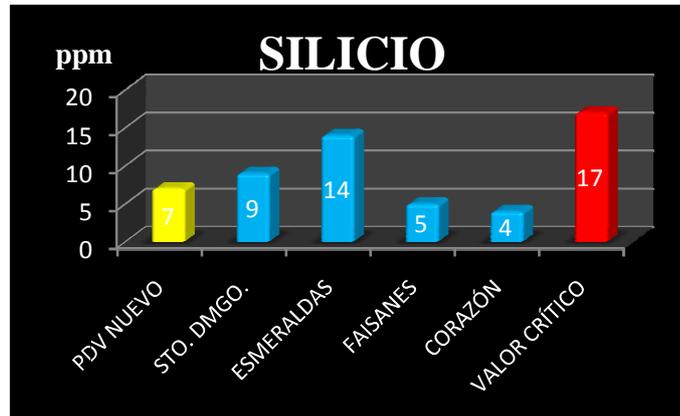


Gráfico 4.44: Silicio en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Contaminante

El valor crítico de silicio admisible en el aceite es de 17 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV nuevo es 7 ppm y en el usado en las Estaciones Santo Domingo es 9 ppm, Esmeraldas 14 ppm, Faisanes 5 ppm y Corazón 4 ppm.

La cantidad de silicio encontrada en el aceite PDV nuevo es de 7 ppm debido a que está actuando como aditivo del aceite, por aquello la contaminación que tiene el aceite PDV de la Estación Santo domingo es 2 ppm que es **baja** y en Esmeraldas es 7 ppm que es **normal** y en los aceites de las Estaciones Faisanes y Corazón existe degradación **baja** de silicio y como contaminante es **no detectado**.

4.5.2.2.2 Sodio (Sodium) Na

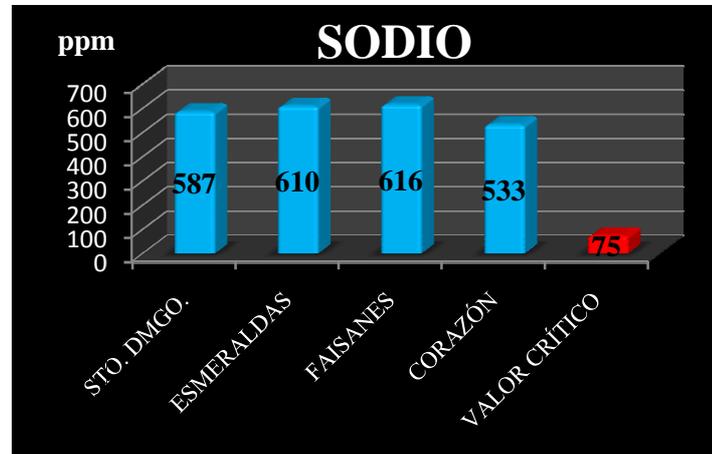


Gráfico 4.45: Sodio en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Contaminante

El parámetro crítico admisible de sodio en el aceite es 75 ppm, la cantidad encontrada en el aceite PDV de la Estación Santo Domingo es 587 ppm, en Esmeraldas 610 ppm, en Faisanes 616 ppm y en Corazón 533 ppm.

En las muestras de aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón se encontró contaminación **crítica** de sodio, lo que nos alerta que tenemos notable entrada de agua, ésta, por el funcionamiento del motor y calentamiento del aceite se ha evaporado y lo encontrado es el residuo de sus minerales.

4.5.2.3 Interpretación de Los Aditivos

4.5.2.3.1 Zinc (Zinc) Zn

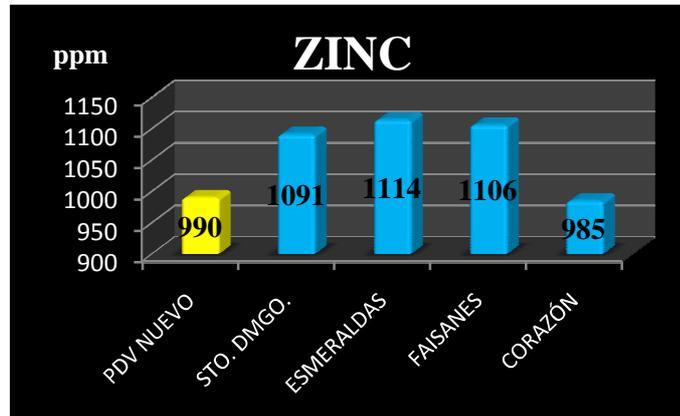


Gráfico 4.46: Zinc en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de zinc encontrada en la muestra de aceite nuevo PDV es 990 ppm, y en la Estación Santo Domingo es 1091 ppm, en Esmeraldas 1114 ppm, en Faisanes 1106 ppm y en Corazón 985 ppm.

En el motor muestreado de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas y Faisanes se encontró desgaste **crítico** de las piezas de zinc, como los cojinetes de biela y bancada y su degradación es **no detectada**, y en el aceite de la Estación Corazón existe degradación **baja** de zinc.

4.5.2.2.2 Fósforo (Phosphorus) P

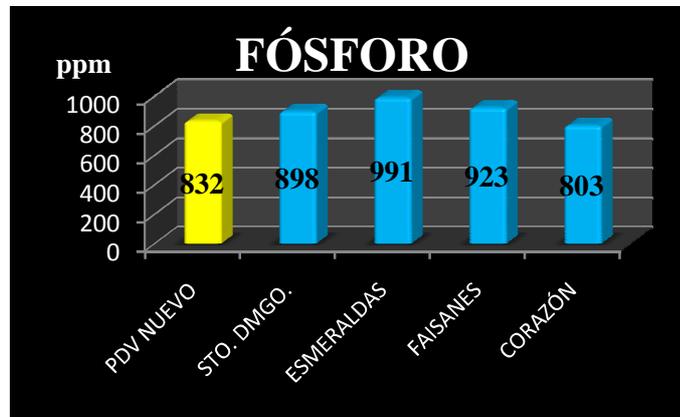


Gráfico 4.47: Fósforo en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de fósforo encontrada en la muestra de aceite nuevo PDV es 832 ppm, en la Estación Santo Domingo 898 ppm, en Esmeraldas 991 ppm, en Faisanes 923 y en Corazón 803 ppm.

En el motor analizado de las Estaciones, Santo Domingo, Esmeraldas y Faisanes existe desgaste **crítico** de las piezas que contienen fósforo, como los anillos superiores de pistón y cilindros, su degradación es **no detectada**, y en la Estación Corazón el aceite sufre degradación **baja** del fósforo.

4.5.2.2.3 Calcio (Calcium) Ca

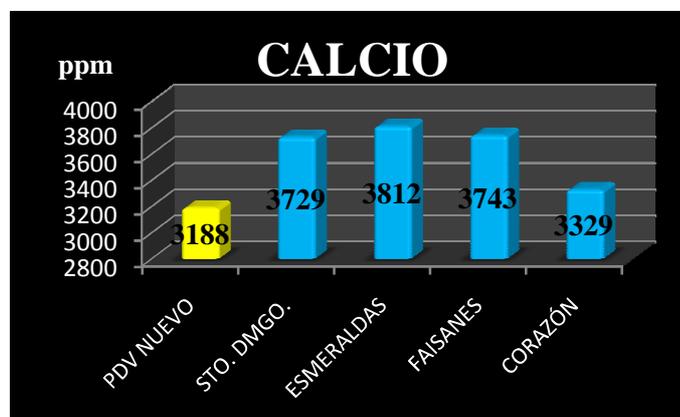


Gráfico 4.48: Calcio en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de calcio encontrada en la muestra de aceite nuevo PDV es 3188 ppm, en el aceite de la Estación Santo Domingo se encontró 3729 ppm, en Esmeraldas 3812 ppm, en Faisanes 3743 ppm y en Corazón 3329 ppm.

En las muestras de aceite de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón existe contaminación **crítica** de calcio que está presente en el polvo y en los minerales que deja la evaporación del agua, y su degradación es **no detectada**.

4.5.2.2.4 Magnesio (Magnesium) Mg

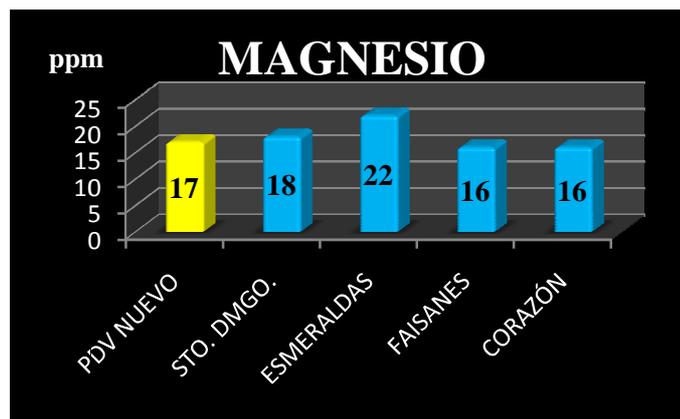


Gráfico 4.49: Magnesio en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Aditivo

La cantidad de magnesio encontrada en la muestra de aceite nuevo PDV es 17 ppm y en el aceite usado de la Estación Santo Domingo se encontró 18 ppm, en Esmeraldas 22 ppm, y en las Estaciones Faisanes Y Corazón 16 ppm.

En los motores analizados de las Estaciones Santo Domingo y Esmeraldas existe desgaste **bajo** de las piezas que contiene magnesio, como cojinetes de biela y bancada, y su degradación es **no detectada**, y en las Estaciones Faisanes y Corazón el aceite sufre degradación **baja** de magnesio.

4.5.2.4 Interpretación de los resultados del Análisis Físico

4.5.2.4.1 Viscosidad

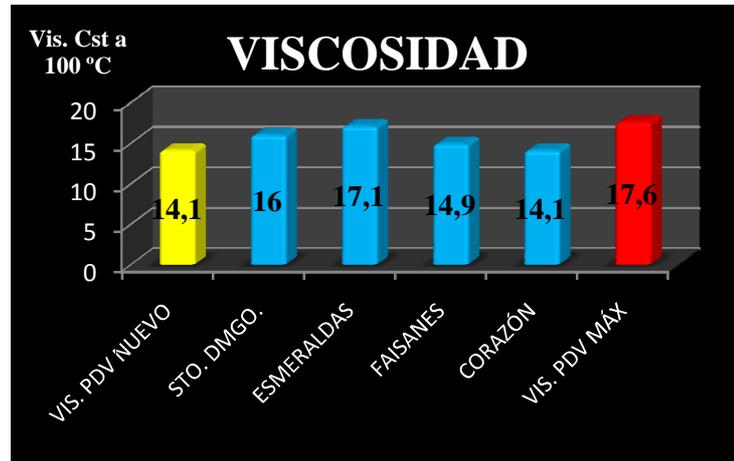


Gráfico 4.50: Viscosidad de Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación de La Viscosidad

Los valores críticos de viscosidad admisibles en el aceite PDV son de 12 como mínimo y 17,6 Cst máximo, la cantidad encontrada en el aceite nuevo es 14,1 Cst, en la Estación Santo Domingo es 16 Cst, en Esmeraldas 17,1 Cst, en Faisanes 14,9 Cst y en Corazón 14,1 Cst.

El incremento de la viscosidad en el aceite PDV de la Estación Santo Domingo es **normal**, en Esmeraldas es **moderadamente crítico**, en Faisanes es **bajo** y en Corazón es **no detectado**, esto es debido a la presencia de los metales de desgaste, motor sobrecalentado, hollín, polvo y sedimentos.

4.5.2.4.2 Número Total de Bases (TBN)

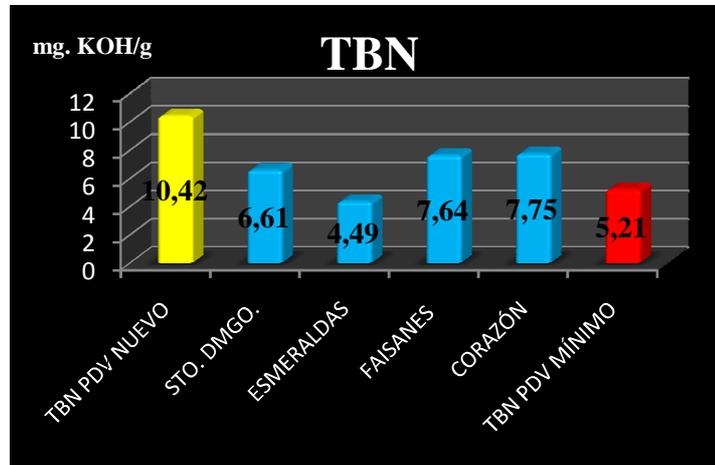


Gráfico 4.51: TBN de Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del TBN

El TBN del aceite PDV nuevo es de 10,42 mg.KOH/g, el del aceite usado de la Estación Santo Domingo es 6,61 mg.KOH/g, el de Esmeraldas es 4,49 mg.KOH/g, de Faisanes es 7,64 mg.KOH/g, de Corazón es 7,75 mg.KOH/g y el valor mínimo admisible de TBN en el aceite es de 5,21 mg.KOH/g.

El TBN del aceite PDV de la Estación Santo Domingo sufre degradación **moderadamente crítica**, el de Esmeraldas degradación **crítica** y el TBN del aceite de las Estaciones Faisanes y Corazón sufre degradación **normal**, el descenso es debido al azufre presente en el combustible, degradación de aditivos por contaminación con agua y oxidación del aceite por la presencia de los metales de desgaste, polvo, hollín y sedimentos.

4.5.2.4.3 Contenido de Hollín en el Aceite

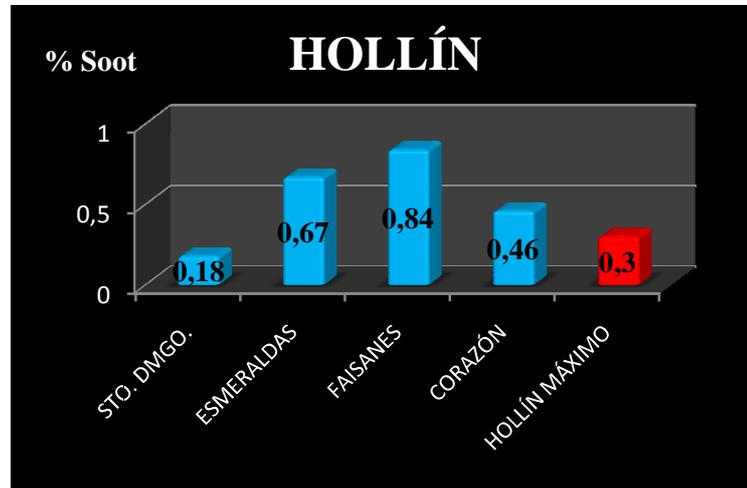


Gráfico 4.52: Hollín en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Hollín

La cantidad de hollín crítica admisible en el aceite es de 0,30 % y la encontrada en el aceite PDV usado de la Estación Santo Domingo es 0,18 %, en el de Esmeraldas es 0,67 %, en el de Faisanes 0,84 % y en el de Corazón es 0,46 %.

En el aceite usado del motor de la Estación Santo Domingo la cantidad de hollín encontrada es **normal** y en las Estaciones Esmeraldas, Faisanes y Corazón es **crítica**, su presencia se debe a relaciones inadecuadas de aire/combustible, inyectores defectuosos, baja compresión, el mismo que oxida el aceite y tapona los filtros.

4.5.2.4.4 Contenido de Combustible en el Aceite



Gráfico 4.53: Combustibles en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Contenido de Combustible en el Aceite

La cantidad crítica admisible de combustible en el aceite es de 6 % y la encontrada en las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es < 1 %.

La presencia de combustible en las muestras de aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es **baja**.

4.5.2.4.5 Contenido de Agua en el Aceite

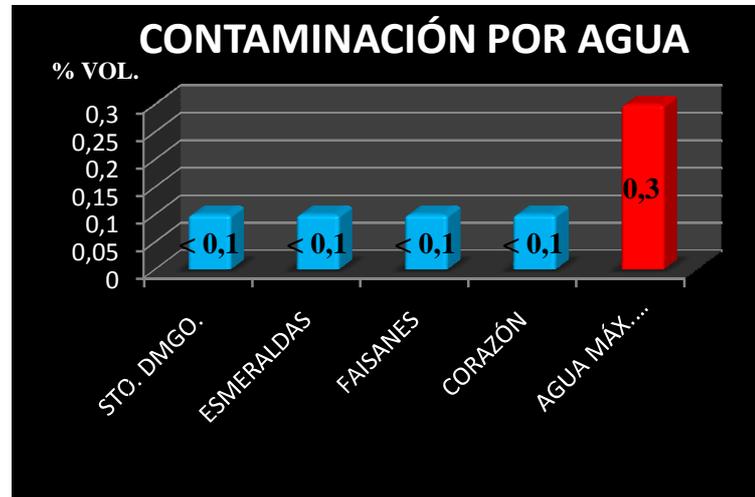


Gráfico 4.54: Agua en Aceites PDV de Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Interpretación del Contenido de Agua en el Aceite

El volumen de agua crítico permitido en el aceite es 0.30 % y el encontrado en el aceite PDV usado de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es < 0.10 %.

La cantidad de agua encontrada en las muestras de aceite PDV de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón es **bajo**, pero se debe tener en cuenta que al tomar las muestras el agua pudo haberse evaporado debido a la temperatura del aceite, por tal motivo se la debe analizar en conjunto con el Sodio que es el contenido de sus minerales, el mismo que tuvo un aumento en todas las estaciones, por lo que se concluye que en las muestras de aceite se tiene entrada **crítica** de agua que hay que corregir o evitar.

4.3.2.5 Interpretación del Conteo de Partículas del Aceite Pdv de las Estaciones Santo Domingo, Esmeraldas, Faisanes y Corazón

Tabla 4.8: CONTEO DE PARTÍCULAS DE LAS ESTACIONES SANTO DOMINGO, ESMERALDAS, FAISANES Y CORAZÓN

CONTEO DE PARTÍCULAS / 100ml				
Estaciones	Santo Domingo	Esmeraldas	Faisanes	Corazón
2-5 micras	1'719.900	2'285.200	106.200	103.700
>5-15 micras	636.100	801.800	39.200	38.300
>15-25 micras	68.000	90.100	4.200	4.100
>25-50 micras	16.300	20.300	1.000	900
>50-100 micras	1.500	2.200	0	0
>100 micras	0	0	0	0
ISO (Código)	22/20/17	22/20/17	18/16/13	18/16/13
Clase	12	12	8	8

FUENTE: Analysts, Inc.

Para los aceites de los motores se recomienda el código de limpieza según la norma ISO 4406 de 19/17/14 y según la norma NAS 1638 de clase 9, que equivalen a no más de 400.000 partículas > 2 μ , no más de 156.000 > 5 μ , no más de 27.700 > 15 μ , no más de 4.900 > 25 μ , no más de 848 > 50 μ , no más de 128 > 100 μ .

El aceite PDV del motor P-203 de la Estación Santo Domingo tiene un total de 2'441.800 partículas > 2 μ , 721.900 > 5 μ , 85.800 > 15 μ , 17800 > 25 μ , 1500 > 50, y no se encontró partículas mayores de 100 μ , y estos valores de contaminación según la norma ISO 4406 equivale a un código 22/20/17 y según la norma NAS 1638 a la clase 12; el aceite del motor P-103 de la Estación Esmeraldas tiene un total de 3'199.600 partículas > 2 μ , 914.400 > 5 μ , 112.600 > 15 μ , 22.500 > 25 μ , 2.200 > 50 μ , y 0 > 100 μ , estas cantidades de partículas equivalen a un código 22/20/17 y clase 12; en el aceite del motor P-303 de la Estación Faisanes se encontró un total de 150.600 partículas > 2 μ , 44.400 > 5 μ , 5.200 > 15 μ , 1.000 > 25 μ y 0 partículas mayores de 50 y 100 μ , estos valores de contaminación equivalen a un código ISO 18/16/13 y clase 8; y el aceite del motor P-403 de la Estación Corazón tiene un total de 147.000 partículas > 2 μ , 43.300 > 5 μ , 5.000 > 15 μ , 900 > 25 μ y 0 partículas mayores de 50 y 100 μ , estos valores de contaminación equivalen a un código ISO 18/16/13 y clase 8.

En los aceites de las Estaciones Santo Domingo y Esmeraldas se encontró exceso de partículas mayores a 2, 5, 15, 25 y 50 μ , que nos indica que en los motores P-203 y P-403 tenemos desgaste crítico de algunas piezas, y según la clasificación del estado del aceite en función del código ISO el

22/20/17 en ambos casos, nos indica que tenemos los aceites **muy sucios**; y en los aceites de las Estaciones Faisanes y Corazón se encontró que las cantidades de las partículas están dentro del rango de contaminación y limpieza establecido para los motores, en ambos casos tenemos el código ISO 18/16/13 que según la clasificación del estado del aceite en función del código ISO, tenemos un aceite **limpio**.

CAPÍTULO V

5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE LUBRICACIÓN PARA LOS MOTORES DE LAS ESTACIONES ESMERALDAS, SANTO DOMINGO, FAISANES Y CORAZÓN

El diseño e implementación de estos planes de lubricación en las diferentes Estaciones y su posterior establecimiento es consolidado a partir de los resultados del análisis de aceite lubricante SAE 40 desarrollado en el capítulo 4.

En los análisis de aceite de los motores, tomando en cuenta la cantidad de partículas de desgaste que no son críticas en todas las Estaciones, se determina que en las Estaciones Santo Domingo, Faisanes y Corazón se puede extender el intervalo entre cambios, pero tampoco es necesario dejar esas partículas hasta que se acumulen llegando a un nivel crítico, por eso es recomendable considerar una mejora en filtración para extender los intervalos con menos desgaste.

Con la asesoría técnica de FSCHEM empresa dedica al monitoreo de aceite y soluciones de sistemas de filtración, se recomienda instalar en los motores un filtro centrífugo FM 090 que retiene hasta 1 kilogramo de lodo y depósitos de combustión cada 1000 horas, el cual gira a 6500 revoluciones a 70 psi y procesa 2 GPM, el cual ayuda a una reducción notable de contaminantes, entre ellos de hollín, que es uno de los contaminantes críticos encontrados en los análisis de los aceites, y a tener un aumento del intervalo de cambio de aceite hasta un 100 %, tiene una vida útil mínima de 15 años y es fácil para dar mantenimiento.

5.1 Plan de Lubricación para los Motores de la Estación Esmeraldas

Tabla 5.1: PLAN DE LUBRICACIÓN ESTACIÓN ESMERALDAS

ESTACIÓN ESMERALDAS	GUÍA DEL PLAN DE LUBRICACIÓN	FRECUENCIA: CADA CAMBIO DE ACEITE LUBRICANTE A LOS 5 MESES Ó 250 HORAS DE USO.
	INSPECCIÓN GENERAL DEL ÁREA	
MOTOR AL CUAL SE HARÁ EL MANTENIMIENTO:		
HORA INICIO:	HORA FINAL:	TIEMPO NORMAL DE CAMBIO: 1HORA
OPERARIOS:		
HERRAMIENTAS Y MATERIALES:		EQUIPO DE PROTECCIÓN: CASCO, GUANTES, CALZADO ANTIDESLIZANTE, PROTECTORES VISUALES.
RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS		
1.- Productos químicos. Trabajar con guantes.		
2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes.		
3.- Trabajo con hidrocarburos. Riesgo de incendio y explosión no fume ni genere chispas.		
MOTOR	DESCRIPCIÓN	RESULTADO V/X
REVISIONES DURANTE LAS HORAS DE SERVICIO DEL ACEITE.	Inspección visual de fugas de aceite en el sistema de lubricación.	
	Controlar ruidos y vibraciones extrañas.	
	Revisar el nivel de aceite del motor.	
	Inspeccionar la temperatura y presión del aceite.	
	Revisar, limpiar y/o cambiar el filtro de aire.	
	Control del funcionamiento y calibración de los inyectores y bomba.	
TRABAJOS E INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Revisar fugas en las cañerías del sistema de refrigeración.	
	Revisar la orden de trabajo.	
	Suspender la energía del motor que se va a realizar el cambio de aceite.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Alinear la válvula de tres vías para evacuar el aceite.	
	Drenar todo el aceite usado del cárter con la bomba manual de aletas y del cuerpo de filtros.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Limpiar los filtros de aceite de laminillas y sedimentos dentro del cuerpo de filtros de aceite, no use disolventes.	
	Colocar dos cartuchos de microfiltro de papel M+H de aceite nuevos y filtros de aceite de laminillas en sus bases.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Limpiar regularmente el cárter de aceite, teniendo cuidado de no olvidarse desechos dentro del mismo.	
	Coloque 60 galones de aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 nuevo, verificando su estado (libre de agua, contaminantes).	
	Cambiar los filtros de combustible.	
	Revisar el nivel de aceite.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Purgar el aire del circuito con la bomba manual de aletas.	

5.2 Plan de Lubricación para los Motores de la Estación Santo Domingo

Tabla 5.2: PLAN DE LUBRICACIÓN ESTACIÓN SANTO DOMINGO

ESTACIÓN SANTO DOMINGO	GUÍA DEL PLAN DE LUBRICACIÓN	FRECUENCIA: CADA CAMBIO DE ACEITE LUBRICANTE A LAS 300 HORAS DE USO.
	INSPECCIÓN GENERAL DEL ÁREA	
MOTOR AL CUAL SE HARÁ EL MANTENIMIENTO:		
HORA INICIO:	HORA FINAL:	TIEMPO NORMAL DE CAMBIO: 1HORA
OPERARIOS:		
HERRAMIENTAS Y MATERIALES:		EQUIPO DE PROTECCIÓN: CASCO, GUANTES, CALZADO ANTIDESLIZANTE, PROTECTORES VISUALES.
RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS		
1.- Productos químicos. Trabajar con guantes.		
2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes.		
3.- Trabajo con hidrocarburos. Riesgo de incendio y explosión no fume ni genere chispas.		
MOTOR	DESCRIPCIÓN	RESULTADO V/X
REVISIONES DURANTE LAS HORAS DE SERVICIO DEL ACEITE.	Inspección visual de fugas de aceite en el sistema de lubricación.	
	Controlar ruidos y vibraciones extrañas.	
	Revisar el nivel de aceite del motor.	
	Inspeccionar la temperatura y presión del aceite.	
	Revisar, limpiar y/o cambiar el filtro de aire.	
	Control del funcionamiento y calibración de los inyectores y bomba.	
TRABAJOS E INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Revisar fugas en las cañerías del sistema de refrigeración.	
	Revisar la orden de trabajo.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Suspender la energía del motor que se va a realizar el cambio de aceite.	
	Alinear la válvula de tres vías para evacuar el aceite.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Drenar todo el aceite usado del cárter con la bomba manual de aletas y del cuerpo de filtros.	
	Limpiar los filtros de aceite de laminillas y sedimentos dentro del cuerpo de filtros de aceite, no use disolventes.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Colocar dos cartuchos de microfiltro de papel M+H de aceite nuevos y filtros de aceite de laminillas en sus bases.	
	Limpiar regularmente el cárter de aceite, teniendo cuidado de no olvidarse desechos dentro del mismo.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Coloque 60 galones de aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 nuevo, verificando su estado (libre de agua, contaminantes).	
	Cambiar los filtros de combustible.	
	Revisar el nivel de aceite.	
	Purgar el aire del circuito con la bomba manual de aletas.	

5.3 Plan de Lubricación para los Motores de la Estación Faisanes

Tabla 5.3: PLAN DE LUBRICACIÓN ESTACIÓN FAISANES

ESTACIÓN FAISANES	GUÍA DEL PLAN DE LUBRICACIÓN	FRECUCIA: CADA CAMBIO DE ACEITE LUBRICANTE A LAS 500 HORAS DE USO.
	INSPECCIÓN GENERAL DEL ÁREA	
MOTOR AL CUAL SE HARÁ EL MANTENIMIENTO:		
HORA INICIO:	HORA FINAL:	TIEMPO NORMAL DE CAMBIO: 1HORA
OPERARIOS:		
HERRAMIENTAS Y MATERIALES:		EQUIPO DE PROTECCIÓN: CASCO, GUANTES, CALZADO ANTIDESLIZANTE, PROTECTORES VISUALES.
RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS		
1.- Productos químicos. Trabajar con guantes.		
2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes.		
3.- Trabajo con hidrocarburos. Riesgo de incendio y explosión no fume ni genere chispas.		
MOTOR	DESCRIPCIÓN	RESULTADO V/X
REVISIONES DURANTE LAS HORAS DE SERVICIO DEL ACEITE.	Inspección visual de fugas de aceite en el sistema de lubricación.	
	Controlar ruidos y vibraciones extrañas.	
	Revisar el nivel de aceite del motor.	
	Inspeccionar la temperatura y presión del aceite.	
	Revisar, limpiar y/o cambiar el filtro de aire.	
	Control del funcionamiento y calibración de los inyectores y bomba.	
TRABAJOS E INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Revisar fugas en las cañerías del sistema de refrigeración.	
	Revisar la orden de trabajo.	
	Suspender la energía del motor que se va a realizar el cambio de aceite.	
	Alinear la válvula de tres vías para evacuar el aceite.	
	Drenar todo el aceite usado del cárter con la bomba manual de aletas y del cuerpo de filtros.	
	Limpiar los filtros de aceite de laminillas y sedimentos dentro del cuerpo de filtros de aceite, no use disolventes.	
DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Colocar dos cartuchos de microfiltro de papel M+H de aceite nuevos y filtros de aceite de laminillas en sus bases.	
	Limpiar regularmente el cárter de aceite, teniendo cuidado de no olvidarse desechos dentro del mismo.	
	Coloque 75 galones de aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 nuevo, verificando su estado (libre de agua, contaminantes).	
	Cambiar los filtros de combustible.	
	Revisar el nivel de aceite.	
	Purgar el aire del circuito con la bomba manual de aletas.	

5.4 Plan de Lubricación para los Motores de la Estación Corazón

Tabla 5.4: PLAN DE LUBRICACIÓN ESTACIÓN CORAZÓN.

ESTACIÓN CORAZÓN	GUÍA DEL PLAN DE LUBRICACIÓN	FRECUCIA: CADA CAMBIO DE ACEITE LUBRICANTE A LAS 500 HORAS DE USO.
	INSPECCIÓN GENERAL DEL ÁREA	
MOTOR AL CUAL SE HARÁ EL MANTENIMIENTO:		
HORA INICIO:	HORA FINAL:	TIEMPO NORMAL DE CAMBIO: 1HORA
OPERARIOS:		
HERRAMIENTAS Y MATERIALES:		EQUIPO DE PROTECCIÓN: CASCO, GUANTES, CALZADO ANTIDESLIZANTE, PROTECTORES VISUALES.
RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS		
1.- Productos químicos. Trabajar con guantes.		
2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes.		
3.- Trabajo con hidrocarburos. Riesgo de incendio y explosión no fume ni genere chispas.		
MOTOR	DESCRIPCIÓN	RESULTADO V/X
REVISIONES DURANTE LAS HORAS DE SERVICIO DEL ACEITE.	Inspección visual de fugas de aceite en el sistema de lubricación.	
	Controlar ruidos y vibraciones extrañas.	
	Revisar el nivel de aceite del motor.	
	Inspeccionar la temperatura y presión del aceite.	
	Revisar, limpiar y/o cambiar el filtro de aire.	
	Control del funcionamiento y calibración de los inyectores y bomba.	
TRABAJOS E INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Revisar fugas en las cañerías del sistema de refrigeración.	
	Revisar la orden de trabajo.	
	Suspender la energía del motor que se va a realizar el cambio de aceite.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Alinear la válvula de tres vías para evacuar el aceite.	
	Drenar todo el aceite usado del cárter con la bomba manual de aletas y del cuerpo de filtros.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Limpiar los filtros de aceite de laminillas y sedimentos dentro del cuerpo de filtros de aceite, no use disolventes.	
	Colocar dos cartuchos de microfiltro de papel M+H de aceite nuevos y filtros de aceite de laminillas en sus bases.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Limpiar regularmente el cárter de aceite, teniendo cuidado de no olvidarse desechos dentro del mismo.	
	Coloque 75 galones de aceite Pdv Super Diesel Plus Sae 40 Api Cf/Cf-2 nuevo, verificando su estado (libre de agua, contaminantes).	
	Cambiar los filtros de combustible.	
	Revisar el nivel de aceite.	
INSPECCIONES DURANTE EL CAMBIO DE ACEITE.	Purgar el aire del circuito con la bomba manual de aletas.	

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En el aceite PDV del motor P-103 de la Estación Esmeraldas se encontraron: 1114 ppm de zinc que indica que en el motor existe desgaste crítico de los cojinetes de biela y bancada; 991 ppm de fósforo que indica desgaste crítico de los anillos superiores de pistón y de los cilindros; 3812 ppm de calcio que indica contaminación crítica debido a presencia de polvo por anomalía del filtro de aire; 610 ppm de sodio que indica presencia de los minerales de agua; 0,67 % de hollín que indica relación inadecuada de aire/combustible o inyectores defectuosos; exceso de partículas mayores a 2, 5, 15, 25 y 50 μ , cuyos tamaños indican desgaste crítico, y un código ISO 22/20 /17 que indica que el aceite está muy sucio; la viscosidad es de 17,1 Cst cuyo aumento es moderadamente crítico y el TBN es de 4,38 mg.KOH/g, el cual ha sufrido degradación crítica, por lo que se determina que en esta Estación el cambio de aceite debe realizárselo antes de los 8 a 9 meses que frecuentemente se lo hace.

- En el aceite PDV del motor P-203 de la Estación Santo Domingo se encontraron: 1091 ppm de zinc que indica que en el motor existe desgaste crítico de los cojinetes de biela y bancada; 898 ppm de fósforo que indica desgaste crítico de los anillos superiores de pistón y de los cilindros; 3729 ppm de calcio que indica contaminación crítica debido a presencia de polvo por anomalía del filtro de aire; 498 ppm de sodio que indica presencia de los minerales de agua; exceso de partículas mayores a 2, 5, 15, 25 y 50 μ , cuyos tamaños indican desgaste crítico, y un código ISO 22/20 /17 que indica que el aceite está muy sucio; pero que cumpliendo con el plan de lubricación se evitará la entrada de contaminantes como polvo y agua, por lo que se determina que en esta Estación el período entre cambios se puede incrementar algunas horas, ya que la viscosidad es de 16 Cst, cuyo incremento es normal, y el TBN es de 6,61 mg.KOH/g, que ha sufrido degradación moderadamente crítica.

- En el aceite PDV del motor P-303 de la Estación Faisanes se encontraron: 1106 ppm de zinc que indica que en el motor existe desgaste crítico de los cojinetes de biela y bancada; 923 ppm de fósforo que indica desgaste crítico de los anillos superiores de pistón y de los cilindros; 3743 ppm de calcio que indica contaminación crítica debido a presencia de polvo por anomalía del filtro de aire; 616 ppm de sodio que indica presencia de los minerales de agua; 0,84 % de hollín que indica relación inadecuada de aire/combustible o inyectores defectuosos; según el

tamaño/cantidad de las partículas están dentro del rango y del código de limpieza encontrándose un ISO 18/16/13 que indica que el aceite es limpio; la viscosidad es de 14,9 Cst, cuyo incremento es normal y el TBN es de 7,64 mg.KOH/g, el cual ha sufrido degradación normal; debido a esto se determina que en esta Estación el tiempo entre cambios de aceite se puede incrementar.

- En el aceite PDV del motor P-403 de la Estación Corazón se encontraron: 3329 ppm de calcio que indica contaminación crítica debido a presencia de polvo por anomalía del filtro de aire; 533 ppm de sodio que indica presencia de los minerales de agua; 0,46 % de hollín que indica relación inadecuada de aire/combustible o inyectores defectuosos; según el tamaño/cantidad de las partículas están dentro del rango y del código de limpieza encontrándose un ISO 18/16/13 que indica que el aceite es limpio; la viscosidad es de 14,1 Cst, cuyo incremento es no detectado y el TBN es de 7,75 mg.KOH/g, el cual ha sufrido degradación normal; debido a esto se determina que en esta Estación el tiempo entre cambios de aceite se puede incrementar.
- En dos estaciones se tomaron muestras de los aceites GULF y PDV para efectuar comparaciones entre ellos, teniendo que en Santo Domingo en el aceite GULF del motor P-201 se encontró una viscosidad de 15,4 Cst y un TBN de 9,23 mg.KOH/g; y en el aceite PDV del motor P-203 se encontró una viscosidad de 16 Cst y un TBN de 6,61 mg.KOH/g; y en Corazón en el aceite GULF del motor P-401 se encontró una viscosidad de 14,1 Cst y un TBN de 8,21 mg.KOH/g; y en el aceite PDV del motor P-403 se encontró una viscosidad de 14,1 Cst y un TBN de 7,75 mg.KOH/g, debido a lo encontrado en los análisis se determina que el aceite GULF es de mejor calidad y por ende brinda mayor protección a los motores que el aceite PDV, debido a que su TBN es fuerte y no sufre degradación excesiva, por lo que le ayuda a dispersar los contaminantes presentes, es por esto que en los dos análisis de este aceite tanto en Santo Domingo como en Corazón se encontró menos contaminantes en cantidad y en tamaño, por lo tanto su viscosidad se mantiene en valores normales y el aceite es más limpio.

6.2 Recomendaciones

- Poner en práctica el plan de lubricación de cada estación, que debido a la interpretación de los resultados de los análisis del estado de los aceites usados, recomiendan que el cambio de aceite en la Estación Santo Domingo se lo haga a las 300 horas, en Esmeraldas así no haya cumplido las 250 horas debe hacerse a los 5 meses y en las Estaciones Faisanes y Corazón por la regularidad del cambio y condiciones de operación el cambio se lo debe hacer a las 500 horas.
- Almacenar correctamente los tambores de aceite nuevo, es decir ponerlos bajo cubierta, ya que en los análisis de aceite nuevo se detectó la presencia de agua que causa muchos daños al motor, y además al estar en la intemperie por el exceso de frío o calor sufre degradación.
- No lavar los motores con agua a presión, debido a que en todos los análisis de aceites se encontró niveles críticos de sodio que causa su presencia, la misma que al emulsionarse con el aceite hace que este se oxide dando lugar a la formación de ácidos que producen aumento de su viscosidad, lodos, herrumbre y corrosión.
- Revisar, limpiar y/o cambiar periódicamente el filtro de aire, porque se encontraron cantidades críticas de calcio y silicio que son causadas por la entrada de polvo, el cual acelera el desgaste del motor, incrementa la viscosidad y degrada las propiedades de los aditivos.
- Inspeccionar regularmente el sistema de inyección de combustible y calibrar correctamente la bomba e inyectores, ya que esto causa el exceso de hollín encontrado en el aceite.
- Instalar en los motores un filtro de limpieza centrífugo de características FM 090 que ayudará a una reducción notable del hollín, lodos y demás contaminantes encontrados en las muestras de aceite, lo que ayudará a tener un aceite limpio.
- Realizar frecuentemente el monitoreo del estado del aceite para conocer el desgaste que se está presentando en las piezas de los motores y con ello determinar un mantenimiento correctivo adecuado para realizar futuras reparaciones, logrando con esto ahorrar tiempo y dinero.
- Utilizar el aceite Gulf para los motores, ya que mediante el análisis e interpretación de sus muestras se determinó que brinda mayor protección a los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **BENLLOCH, María José.** Los Lubricantes. Barcelona: CEAC. 1990. pp. 39-50.
- [2] **FITCH, C. James.** Guía de Procedencia de Elementos para Aceite Usado. 2da.ed. México: Noria. 2005. pp. 19.
- [3] **BENLLOCH, María José.** Los Lubricantes. Barcelona: CEAC. 1990. pp. 295-297.
- [4] www.rolcar.com.mx/Tecno%20Tips/Guia%de%20Lubricantes/Guia%20de%lubricantes.
- [5] **FITCH, C. James.** Guía de Procedencia de Elementos para Aceite Usado. 2da.ed. México: Noria. 2005. pp. 12.
- [6] www.widman.biz/interpretacion-de-resultados.
- [7] **MUÑOZ, N. Carlos.** Aplicaciones del Análisis de Aceite Usado en Motores a Diesel de Uso Marítimo. Tesis. Ing. Naval: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador: 2003. pp. 46-49.
- [8] www.wearcheckiberica.es/boletín-mensual.
- [9] **MOTOREN WERKE MANNHEIM.** Manual MWM Diesel. pp. 24-47.
- [10] www.eltiempo.com.

BIBLIOGRAFÍA

- **ALBARRACÍN, Pedro.** Lubricación Industrial y Automotriz. Medellín: Litochoa. 2000.
- **BENLLOCH, M. José.** Los Lubricantes. Barcelona: CEAC. 1990.
- **CATERPILLAR.** Análisis Periódico de Aceite. Estados Unidos: Caterpillar. 1989.
- **FITCH, C. James.** Guía de Procedencia de Elementos para Aceite Usado. 2da.ed. México: Noria. 2005.
- **MOTOREN WERKE MANNHEIM.** Manual MWM Diesel.
- **MUÑOZ, N. Carlos.** Aplicaciones del Análisis de Aceite Usado en Motores a Diesel de uso Marítimo. Tesis. Ing. Naval: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador. 2003.
- **VALVOLINE.** Programa de Muestreo Progresivo de Aceites. Guayaquil: Lubrival. 2000.

LINKOGRAFÍA

- TEORÍA SOBRE ACEITES LUBRICANTES

www.lubricar.net/teoría.htm

www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm

www.monografias.com/trabajos10/lubri/lubri2.shtml

www.rmlubricacion.com.ar

2010-03-08

- CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES PARA MOTOR

www.rolcar.com.mx

2010-03-15

- DATOS GEOGRÁFICOS DEL ECUADOR

www.eltiempo.com

2010-05-07

- MÉTODOS PARA TOMAR MUESTRAS DE ACEITE DE UN MOTOR

www.lubrisa.com/muestras.aspx

www.ingelube.cl/ensayos.php

2010-05-16

- IMÁGENES DEL MÉTODO DEL TAPÓN DE DRENAJE PARA MUESTRAS DE ACEITE

www.media.photobucket.com/image/tapon%20de%20aceite.jpg

2010-05-19

- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACEITE GULF SAE 40

www.lubrisa.com/aceites-gulf

2010-07-19

- INTERPRETACIÓN DE ACEITE USADO DE MOTOR

www.widman.biz/interpretación-de-resultados

www.noria.com/sp

2010-08-04

- PRUEBAS REALIZADAS AL ACEITE USADO DE MOTOR

www.wearcheckiberica.es

2010-11-13

- MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES

www.machinespy.com/mantenimientopredictivo

www.emagister.com

2010-12-14